

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19)世界知的所有権機関
国際事務局



(43)国際公開日
2002年11月21日 (21.11.2002)

PCT

(10)国際公開番号
WO 02/092276 A1

(51)国際特許分類⁷:
H05K 3/00 // B23K 101:42

B23K 26/38, 26/40,

(72)発明者; および

(75)発明者/出願人(米国についてのみ): 小林 信高 (KOBAYASHI,Nobutaka) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 竹野 祥瑞 (TAKENO,Shozui) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 伊藤 健治 (ITO,Kenji) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 森安 雅治 (MORIYASU,Masaharu) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(21)国際出願番号:
PCT/JP02/03150

(22)国際出願日: 2002年3月29日 (29.03.2002)

(25)国際出願の言語: 日本語

(26)国際公開の言語: 日本語

(30)優先権データ:
特願2001-141451 2001年5月11日 (11.05.2001) JP

(71)出願人(米国を除く全ての指定国について): 三菱電機株式会社 (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 Tokyo (JP).

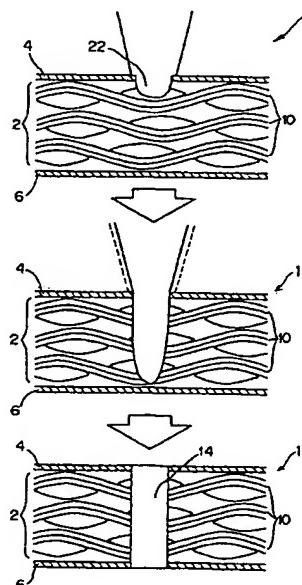
(74)代理人: 青山 保, 外 (AOYAMA,Tamotsu et al.); 〒540-0001 大阪府大阪市中央区城見1丁目3番7号 IMPビル青山特許事務所 Osaka (JP).

(81)指定国(国内): CN, JP, KR, US.

[続葉有]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR LASER BEAM MACHINING OF LAMINATED MATERIAL

(54)発明の名称: 積層材料のレーザ加工方法および装置



(57) Abstract: A method for laser beam machining of a laminated material capable of machining a laminated material (1) comprising one or more conductive layers (4, 6) and an insulating layer (2) laminated each other by a laser beam (20), comprising the steps of radiating the laser beam (20) to the laminated material to form a hole (22) for machining the conductive layer (4) and radiating the laser beam smaller in beam diameter at a machining point than the laser beam radiated to the conductive layer (4) into the hole (22) to machine the insulating layer (2) laminated on the conductive layers (4, 6).

WO 02/092276 A1

[続葉有]



(84) 指定国(広域): ヨーロッパ特許(AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR). 2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

(57) 要約:

本発明の積層材料レーザ加工方法は、1以上の導体層(4, 6)と絶縁層(2)とが積層された積層材料(1)をレーザビーム(20)によって加工する方法である。このレーザ加工方法においては、レーザビーム(20)を照射して加工穴(22)を形成することによって導体層(4)を加工した後、続けて、その加工穴(22)に、導体層(4)に照射したレーザビームよりも加工点におけるビーム径が小さいレーザビームを照射して、導体層(4, 6)に積層した絶縁層(2)を加工する。

明細書

積層材料のレーザ加工方法および装置

5 技術分野

本発明は、積層材料のレーザ加工方法および装置に関し、より詳細には、プリント基板と呼称される積層配線基板において、レーザ光により、穴あけ加工および溝加工を行う方法および装置に関する。

10 背景技術

例えば、図19に示すように、プリント基板1は、絶縁材2、絶縁材2の両表面に取り付けられた銅箔4および銅箔6から成る。絶縁材2は、直径が数 μm のガラス纖維8を40本ないし60本束ねて一束とした纖維束(ガラスクロス)10を網目状に織ったものにエポキシ樹脂を含浸硬化させて形成される。

15 このようなプリント基板1において、絶縁材2の表面に取り付けられた2枚の銅箔4および銅箔6を電気的に接続する場合、従来は、プリント基板1を貫通するスルーホールと呼ばれる貫通穴をドリルによって形成し、この貫通穴の内壁に銅めっきを施して導通層を形成していた。しかし、このようにドリルによって穴あけを行う場合、穴径が $\phi 200\mu\text{m}$ 以下になると、ドリルの損耗が激しく、穴あけ中にドリル折れが発生しやすい、および、加工速度が著しく遅くなる等の問題があった。また、ドリルによって穴あけを行う場合には、加工された貫通穴の断面において表面粗さが数 $10\mu\text{m}$ と非常に大きくなり、めっき処理によってその断面に均一な導通層を形成することが困難であった。

20 このような問題を解決するため、ドリルに代わってレーザ光によって貫通穴を形成する方法が、American Society of Mechanical Engineers 90-WA/EFP-36に提案されている。これは、図20に示されるように、プリント基板1にレーザ光20を照射することにより、銅箔4や銅箔6、および、ガラス纖維8やエポキシ樹脂を除去して貫通穴14を形成する方法である。

また、特開平3-27885号公開公報は、レーザ光をパルス化し、銅箔を加工する場合と、絶縁材を加工する場合とで、レーザ光のピーク出力を変化させるレーザ加工方法を開示する。図19を用いて説明すると、このレーザ加工方法においては、銅箔4を加工する場合および銅箔6を加工する場合に、同じ高ピーク出力のレーザビームを使用し、絶縁材2を加工する場合に、低ピーク出力のレーザビームを使用することによって、上述の穴断面の表面粗さを小さくする。

発明の開示

(発明が解決しようとする技術的課題)

しかし、レーザ光を用いて加工を行った場合には、図21に示すように、加工された貫通穴14内に、 $20\mu m$ 程度の、銅箔4、銅箔6およびガラスクロス10の穴内への突き出しが生じるという問題があった。また、貫通穴14の形状が中膨れ形状になるといった問題があった。さらに、銅箔4や銅箔6における穴径のばらつきが大きいという問題があった。貫通穴14内への銅箔4、銅箔6およびガラスクロス10の突き出しが $10\mu m$ 以上になったり、貫通穴14の形状が中膨れ形状になったり、銅箔4や銅箔6における穴径のばらつきが大きかったりすると、貫通穴14の内壁に均一な導通層を形成することが困難になり、銅箔4と銅箔6との間の電気的な接続の信頼性が低下する。

また、以上の課題は、プリント基板1においてブラインドバイアホール(止まり穴)を形成したり、溝加工を行う場合にもあてはまる。止まり穴内や溝内へ $20\mu m$ 程度の銅箔4やガラスクロス10の突き出しが生じたり、加工された穴や溝の形状が台形等の形状になると、その止まり穴や溝の内壁に導通用の金属膜等の均一な膜が形成できないといった問題があった。

さらに、レーザ加工における加工時間の短縮が望まれる。

本発明の目的は、積層配線基板において、穴あけ加工や溝加工等のレーザ加工を行う場合に、穴や溝の内部に積層材料の一部が突き出すことなく、穴形状が所望の形状になるような信頼性の高い加工を実現するレーザ加工方法および装置を提供することである。

(その解決方法)

本発明に係る第1の積層材料レーザ加工方法は、1以上の導体層と絶縁層とが積層された積層材料をレーザビームによって加工する方法である。この方法は、前記の導体層にレーザビームを照射して加工穴を形成する導体層加工ステップと、前記の導体層加工ステップに続けて、前記の加工穴に前記の導体層に照射したレーザビームよりも加工点におけるビーム径が小さいレーザビームを照射して、前記の導体層に積層した絶縁層を加工する絶縁層加工ステップとを含む。
5

本発明に係る第2の積層材料レーザ加工方法は、1以上の導体層と絶縁層とが積層された積層材料にレーザビームを照射して前記の積層材料を貫通する貫通穴を形成する方法である。ここで、前記の積層材料のレーザビームが出射する側の表面層は導体層である。この方法は、前記の表面層上にレーザビーム吸収材料を形成するステップと、前記の積層材料を貫通する貫通穴を形成するステップとから成る。
10

好ましくは、前記の第2の積層材料レーザ加工方法において、前記のレーザビーム吸収材料は高分子材料である。

15 なお、前記の第2の積層材料レーザ加工方法は、前記の第1の積層材料レーザ加工方法と併用できる。

本発明に係る第3の積層材料レーザ加工方法は、1以上の導体層と絶縁層とが積層された積層材料にレーザビームを照射して穴あけ加工を行う方法である。この方法は、前記の導体層において、穴あけ加工によって除去される部分をあらかじめ加熱する加熱ステップと、前記の加熱ステップにおいて加熱された部分にレーザビームを照射して穴あけ加工を行う加工ステップとを含む。
20

好ましくは、前記の第3の積層材料レーザ加工方法において、前記の加熱ステップは、レーザビームを照射することによって行われる。

なお、前記の第3の積層材料レーザ加工方法は、前記の第1の積層材料レーザ加工方法と併用できる。その場合、好ましくは、前記の第1の積層材料レーザ加工方法は、前記の導体層加工ステップの前に、前記の導体層において、加工によって除去される部分をあらかじめ加熱する加熱ステップを含み、前記の導体層加工ステップにおいて、前記の加熱ステップによって加熱された部分にレーザビームを照射して加工穴を形成する。
25

なお、前記の第3の積層材料レーザ加工方法は、前記の第2の積層材料レーザ加工方法と併用できる。その場合、積層材料のレーザビームが射出する側の表面層（導体層）にレーザビーム吸収材料を形成する一方、レーザビームが入射する導体層において穴あけ加工を行う場合に、穴あけ加工によって除去される部分をあらかじめ加熱してから、その加熱された部分にレーザビームを照射してもよい。

なお、前記の第3の積層材料レーザ加工方法は、前記の第1の積層材料レーザ加工方法および前記の第2のレーザ加工方法と併用できる。

本発明に係る第4の積層材料レーザ加工方法は、絶縁層とその絶縁層を挟む2つの導体層とから成る積層部を含む、導体層と絶縁層とが積層された積層材料において、レーザビームを照射して、前記の積層部を貫通する貫通穴を形成する方法である。この方法は、前記の積層部の第1の導体層に第1のレーザビームを照射して加工穴を形成する第1の加工ステップと、前記の第1の加工ステップに続けて、前記の第1の加工ステップの加工点におけるビーム径を一定にして、前記の第1の加工ステップにより形成された加工穴に、前記の第1のレーザビームよりもピーク出力が低い第2のレーザビームを照射して、前記の積層部の絶縁層の加工を行う第2の加工ステップと、前記の第2の加工ステップに続けて、前記の第2の加工ステップに加工点におけるビーム径を一定にして、前記の第2の加工ステップによって形成された加工穴に、前記の第1のレーザビームよりもピーク出力が低く、かつ、前記の第2のレーザビームよりもピーク出力が高い第3のレーザビームを照射して、前記の積層部の第2の導体層の加工を行う第3の加工ステップとから成る。

なお、前記の第4の積層材料レーザ加工方法は、前記の第1の積層材料レーザ加工方法と併用できる。その場合、絶縁層とその絶縁層を挟む2つの導体層とから成る前記の積層部において、前記の第1の導体層に、前記の第1のレーザビームを照射して加工穴を形成し、次に、前記の加工穴に、前記の第1のレーザビームよりもピーク出力が低く、前記の第1のレーザビームよりも加工点におけるビーム径が小さい第2のレーザビームを照射して、前記の積層部の絶縁層を加工する。

なお、前記の第4の積層材料レーザ加工方法は、前記の第2の積層材料レーザ

加工方法と併用できる。例えば、前記の積層部の第2の導体層が、前記の積層材料の表面層である場合、好ましくは、前記の第1の加工ステップの前に、前記の第2の導体層上にレーザビーム吸収材料を形成するステップを含む。

なお、前記の第4の積層材料レーザ加工方法は、前記の第3の積層材料レーザ加工方法と併用できる。その場合、前記の第4の積層材料レーザ加工方法によつて、積層材料の導体層のレーザ加工を行う場合に、その積層材料の導体層において加工によって除去される部分をあらかじめ加熱してから、その加熱された部分にレーザビームを照射してもよい。

なお、前記の第4の積層材料レーザ加工方法は、前記の第1の積層材料レーザ加工方法、前記の第2の積層材料レーザ加工方法、および、前記の第3の積層材料レーザ加工方法のうち任意の2つの加工方法、または、全ての加工方法と併用できる。

本発明に係る第5の積層材料レーザ加工方法は、絶縁層とその絶縁層を挟む2つの導体層とから成る積層部を含む、導体層と絶縁層とが積層された積層材料において、レーザビームを照射して、前記の積層部を貫通する貫通穴を形成する方法である。この方法は、前記の積層部の第1の導体層に第1のレーザビームを照射して加工穴を形成する第1の加工ステップと、前記の第1の加工ステップに続けて、前記の第1の加工ステップよりもパワー密度を小さくして、第2のレーザビームを照射して、前記の積層部の絶縁層の加工を行う第2の加工ステップと、前記の第2の加工ステップに続けて、前記の第1の加工ステップよりもパワー密度を低く、かつ、前記の第2の加工ステップよりもパワー密度を高くして、前記の第2の加工ステップによって形成された加工穴に、第3のレーザビームを照射して、前記の積層部の第2の導体層の加工を行う第3の加工ステップとから成る。

本発明に係る第6の積層材料レーザ加工方法は、絶縁層とその絶縁層を挟む2つの導体層とから成る積層部を含む、導体層と絶縁層とが積層された積層材料において、パルス化されたレーザビームを照射して、前記の積層部を貫通する貫通穴を形成する方法である。この方法は、前記の積層部の第1の導体層に第1のレーザビームを照射して加工穴を形成する第1の加工ステップと、前記の第1の加工ステップに続けて、前記の第1の加工ステップの加工点におけるビーム径を一

定にして、前記の第1の加工ステップにより形成された加工穴に、前記の第1のレーザビームよりもピーク出力が低く、かつ、前記の第1のレーザビームよりもパルス幅の長い第2のレーザビームを照射して、前記の積層部の絶縁層の加工を行う第2の加工ステップと、前記の第2の加工ステップに続けて、前記の第2の加工ステップの加工点におけるビーム径を一定にして、前記の第2の加工ステップによって形成された加工穴に、前記の第1のレーザビームよりもピーク出力が低く、かつ、前記の第1のレーザビームよりもパルス幅が長いレーザビームであって、前記の第2のレーザビームよりもピーク出力が高く、かつ、前記の第2のレーザビームよりもパルス幅が短い第3のレーザビームを照射して、前記の積層部の第2の導体層の加工を行う第3の加工ステップとから成る。

本発明に係る積層材料レーザ加工装置は、1以上の導体層と絶縁層とが積層された積層材料にレーザビームを照射して加工を行う装置である。この装置は、ピーク出力の異なる複数のパルス化されたレーザビームを出射できるレーザ発振器と、前記のレーザ発振器から出射されたレーザビームの一部を通過させる開口と、前記の開口を通過したレーザビームを光路変更させる光路変更光学系と、前記の開口の像を結像する結像レンズと、前記のレーザ発振器、前記の開口、前記の光路変更光学系、および、前記の結像レンズの位置および動作を制御する制御部とを備える。また、前記の制御部は、結像される像の大きさを可変にする。

好ましくは、前記の積層材料レーザ加工装置は、さらに、前記の開口と前記の光路変更光学系との間の光路中に光路長を可変にする光路長可変光学系を備える。また、前記の制御部は、前記の光路長可変光学系を制御して、前記の開口と前記の結像レンズとの間の距離を可変にする。

好ましくは、前記の積層材料レーザ加工装置は、さらに、前記の開口と前記の光路変更光学系との間の光路中に反射ミラーを備える。また、前記の制御部は、前記の反射ミラーの反射面形状を可変にする。

好ましくは、前記の積層材料レーザ加工装置において、前記の制御部は、前記の反射ミラーの反射面形状を回転双曲面の一部にする。

好ましくは、前記の積層材料レーザ加工装置において、前記の制御部は、前記の反射ミラーに装着された圧電素子を制御することによって、前記の反射ミラー

の反射面形状を可変にする。

好ましくは、前記の積層材料レーザ加工装置において、前記の制御部は、前記の開口の開口径を可変にする。

好ましくは、前記の積層材料レーザ加工装置において、前記の制御部は、前記の結像レンズの焦点距離を可変にする。
5

(従来技術より有効な効果)

本発明による積層材料のレーザ加工方法により、貫通穴の中膨れが生じることを防ぐことができる。

本発明による積層材料のレーザ加工方法により、積層材料のレーザ光入射側の表面層である銅箔の穴径のばらつきを低減できる。
10

本発明による積層材料のレーザ加工方法により、貫通口内の銅箔やガラスクロスの突出を防ぐことができる。

本発明による積層材料のレーザ加工方法により、積層材料のレーザ光出射側の表面層である銅箔の穴径のばらつきを低減できる。

15 本発明による積層材料のレーザ加工装置により、レーザビームのビーム径の変化を簡便に実現でき、貫通穴の中膨れが生じることを簡便に防止できる。

図面の簡単な説明

20 図 1 は、本発明の実施の形態 1 による積層材料のレーザ加工方法の工程を図式的に示す図である。

図 2 は、銅箔の均一な表面にパルス幅や 1 パルスのエネルギーが異なるレーザビームを 1 パルス照射する場合において、そのレーザビームの銅箔加工能力を説明するグラフ図である。

25 図 3 は、本発明の実施の形態 2 による積層材料のレーザ加工方法の工程を図式的に示す図である。

図 4 は、本発明の実施の形態 2 による積層材料のレーザ加工装置を図式的に示す図である。

図 5 は、開口径連続可変ビーム絞りを図式的に示す図である。

図 6 は、本発明の実施の形態 3 による積層材料のレーザ加工装置を図式的に示

す図である。

図7は、結像光学系の基本構成を図式的に示す図である。

図8は、本実施の形態4による積層材料のレーザ加工装置を図式的に示す図である。

5 図9は、凸面鏡と凹面鏡を用いた場合の結像光学系の基本構成を図式的に示す図である。

図10は、反射ミラーの反射面の形状による反射の仕方の違いを図式的に示す図である。

10 図11は、図8のレーザ加工装置で用いられる反射面形状可変反射ミラーの構成を図式的に示す図である。

図12は、本発明の実施の形態5による積層材料のレーザ加工装置を図的に示す図である。

図13は、開口とレンズとによる集光状態を図的に示す図である。

15 図14は、本発明の実施の形態6による積層材料のレーザ加工装置を図的に示す図である。

図15は、焦点距離可変転写レンズの構成を図的に示す図である。

図16は、本発明の実施の形態7による積層材料のレーザ加工方法の工程を図的に示す図である。

20 図17は、本発明の実施の形態8による積層材料のレーザ加工方法の工程を図的に示す図である。

図18は、銅における炭酸ガスレーザ吸收率の温度依存性を示すグラフ図である。

図19は、プリント基板の断面を図的に示す図である。

25 図20は、従来のレーザ加工によるスルーホール形成工程を図的に示す図である。

図21は、従来のレーザ加工により形成したスルーホールの断面を図的に示す図である。

以下に、添付の図面を用いて、本発明の実施の形態を説明する。

<実施の形態1>

図1に、本発明の実施の形態1による積層材料のレーザ加工方法の工程を図式的に示す。本実施の形態において、積層材料とは、積層配線基板であり、プリント基板と呼称される。図1に示すように、プリント基板1は、絶縁材(絶縁層)2、絶縁材2の両表面に取り付けられた銅箔(導体層)4および銅箔(導体層)6から成る。絶縁材2は、ガラスエポキシ樹脂であり、直径が数 μm のガラス繊維を40本ないし60本束ねて一束としたガラスクロス10を網目状に織ったものにエポキシ樹脂を含浸硬化させて形成される。図1に示される工程においては、銅箔4および銅箔6の厚さが12 μm である厚さ0.4mmの両面銅張りプリント基板(ガラスエポキシ基板)1に、炭酸ガスレーザのパルス化したレーザビームを照射して、貫通穴14を形成する。

まず、 $\phi 120\mu\text{m}$ に集光したレーザビーム20を銅箔4に照射して、銅箔4の表面に加工穴22を形成する。この時、レーザビームのパルスON時間(パルス幅)を3 μs 、1パルスのレーザエネルギーを24mJと設定し、そのレーザビームを1パルス照射することにより、銅箔4の表面に $\phi 100\mu\text{m}$ の加工穴22を形成する。なお、以後の加工において、レーザビームの集光径(加工点におけるレーザビーム径)を $\phi 120\mu\text{m}$ に固定する。

次に、加工穴22と同じ位置に、レーザビームのパルスON時間を100 μs 、1パルスのレーザエネルギーを10mJと設定して、そのレーザビームを4パルス照射し、絶縁材2を加工する。さらに、その同じ位置に、レーザビームのパルスON時間を40 μs 、1パルスのレーザエネルギーを8mJと設定して、そのレーザビームを1パルス照射し、銅箔6を加工する。これにより、プリント基板1に $\phi 100\mu\text{m}$ の貫通穴14を形成する。

この貫通穴14の断面を顕微鏡により観察すると、穴径がほとんど変化せず、その穴の中心軸線の方向がレーザビームの光軸方向に一致する。また、貫通穴14内において、レーザ光入射側の銅箔4およびレーザ光出射側の銅箔6の穴内への突き出しあり5 μm 以下であり、ガラスクロス10の穴内への突き出しありほとんど存在しないことがわかった。

一方、図1の工程による穴あけ加工と比較するために、同じプリント基板、かつ、同じ種類のレーザ光を用いて、他の異なる工程によって穴あけ加工を行う。
以下に、これらの比較実験について、詳細に説明する。なお、以下の比較実験において、銅箔4、絶縁材2および銅箔6に照射するレーザビームの集光径は、 ϕ 120 μ mに固定される。第1の比較実験として、レーザビームを、図1において銅箔4を加工した条件（レーザビームのパルスON時間が3 μ s、1パルスのレーザエネルギーが24mJ）に設定し、プリント基板1に1パルス照射する。そして、その同じ位置に、レーザビームのパルスON時間を100 μ s、1パルスのレーザエネルギーを10mJと設定して、そのレーザビームを5パルス照射する。
この工程によって、プリント基板1に貫通穴14が形成される。しかし、この貫通穴14の断面を、顕微鏡により観察すると、貫通穴14内に、レーザ光出射側の銅箔6が、20 μ m程度突き出していた。

また、第2の比較実験として、レーザビームを、図1において銅箔4を加工した条件（レーザビームのパルスON時間が3 μ s、1パルスのレーザエネルギーが24mJ）に設定し、プリント基板1に5パルス連続して照射する。この工程によって、プリント基板1に貫通穴14が形成される。しかし、貫通穴14の断面を、顕微鏡により観察すると、貫通穴14の形状は中膨れ形状であり、さらに、貫通穴14内に、レーザ光入射側の銅箔4、レーザ光の出射側の銅箔6、および、ガラスクロス10が、20 μ m程度突き出していた。

さらに、第3の比較実験として、レーザビームを、図1において銅箔4を加工した条件（レーザビームのパルスON時間が3 μ s、1パルスのレーザエネルギーが24mJ）に設定し、プリント基板1に1パルス照射する。そして、その同じ位置に、レーザビームのパルスON時間を100 μ s、1パルスのレーザエネルギーを10mJと設定し、そのレーザビームを4パルス照射する。さらに、その同じ位置に、レーザビームのパルスON時間を3 μ s、1パルスのレーザエネルギーを24mJと設定し、そのレーザビームを1パルス照射する。この工程によって、プリント基板1に貫通穴14が形成される。しかし、貫通穴14の断面を、顕微鏡により観察すると、貫通穴14内に、レーザ光出射側の銅箔6が、20 μ m程度突き出していた。なお、この第3の比較実験の方法は、上述の特開平3-27

885号公開公報に記載された方法と同様の方法であり、銅箔4を加工する場合および銅箔6を加工する場合には、同じ高ピーク出力のレーザビームを使用し、絶縁材2を加工する場合には、低ピーク出力のレーザビームを使用する。

さらに、第4の比較実験として、レーザビームを、図1において銅箔4を加工した条件（レーザビームのパルスON時間が $3\mu s$ 、1パルスのレーザエネルギーが $24mJ$ ）に設定し、プリント基板1に1パルス照射する。そして、その同じ位置に、レーザビームのパルスON時間を $1\mu s$ 、1パルスのレーザエネルギーを $10mJ$ と設定して、そのレーザビームを10パルス照射する。この工程によって、プリント基板1に貫通穴14が形成される。しかし、貫通穴14の断面を、顕微鏡により観察すると、貫通穴14の形状は中膨れ形状であり、貫通穴14内に、レーザ光入射側の銅箔4、レーザ光出射側の銅箔6、および、ガラスクロス10が、 $20\mu m$ 程度突き出していた。

本実施の形態によるレーザ加工方法において、銅箔4を加工する時のレーザビーム条件（レーザビームのパルスON時間が $3\mu s$ 、1パルスのレーザエネルギーが $24mJ$ ）、絶縁材2を加工する時のレーザビーム条件（レーザビームのパルスON時間が $100\mu s$ 、1パルスのレーザエネルギーが $10mJ$ ）、および、銅箔6を加工する時のレーザビーム条件（レーザビームのパルスON時間が $40\mu s$ 、1パルスのレーザエネルギーが $8mJ$ ）は異なる。ここで、それぞれの材料を加工する場合のレーザビームのピーク出力を、次の式（1）を用いて計算する。

$$\text{ピーク出力} = \frac{\text{1パルスのエネルギー}}{\text{パルスON時間 (パルス幅)}} \quad (1)$$

これによると、銅箔4を加工する時のレーザビームのピーク出力（ $8kW$ ）は、絶縁材2を加工する時のレーザビームのピーク出力（ $100W$ ）や銅箔6を加工する時のレーザビームのピーク出力（ $200W$ ）よりも高く、銅箔6を加工する時のレーザビームのピーク出力（ $200W$ ）は、絶縁材2を加工する時のレーザビームのピーク出力（ $100W$ ）よりも高い。

また、銅箔4を加工する時のレーザビームのパルス幅（ $3\mu s$ ）は、絶縁材2を加工する時のレーザビームのパルス幅（ $100\mu s$ ）や銅箔6を加工する時のレーザビームのパルス幅（ $40\mu s$ ）よりも短く、銅箔6を加工する時のレーザビームのパルス幅（ $40\mu s$ ）は、絶縁材2を加工する時のレーザビームのパル

ス幅 ($100 \mu s$) よりも短い。以下に、レーザビームのピーク出力やパルス幅の値の設定について、詳細に説明する。

最初に、レーザビームのピーク出力の値の設定について説明する。なお、レーザ加工において被加工物の加工状態を決定する最も重要なパラメータは、レーザビームのパワー密度であり、次の式 (2) によって表わされる。

$$\text{パワー密度} = \text{レーザビームのピーク出力} / \text{レーザビームの集光径} \quad (2)$$

本来であれば、このパワー密度の値を考慮するべきであるが、本実施の形態によるレーザ加工方法および比較実験のレーザ加工方法においては、照射するレーザビームの集光径が一定 ($\phi 120 \mu m$) に保たれるため、ピーク出力の値を用いて考察する。

まず、銅箔 4 および銅箔 6 を加工する場合のレーザビーム条件について説明する。銅は、一般的に、レーザ光の反射率が高く、熱伝導が良いため、レーザ加工が困難な材料である。特に、銅箔 4 および銅箔 6 等のプリント基板表面に均一に形成された銅箔は、その均一な表面に炭酸ガスレーザが照射されても、照射された炭酸ガスレーザの 99% 近くを反射し、加工が非常に困難である。図 2 は、銅箔の均一な表面にパルス幅や 1 パルスのエネルギーが異なるレーザビームを等しい集光径で 1 パルス照射する場合において、そのレーザビームの銅箔加工能力を説明するグラフである。グラフの横軸はレーザビームのパルス幅、縦軸はレーザビームの 1 パルスのエネルギーを示す。このグラフにおいて、あるパルス幅とある 1 パルス当たりのエネルギーを持つレーザビームを照射して、厚さ $18 \mu m$ の銅箔を貫通できた場合は、そのパルス幅の値とその 1 パルス当たりのエネルギーの交点に○が印される。同様に、あるパルス幅とある 1 パルス当たりのエネルギーを持つレーザビームを照射して、厚さ $12 \mu m$ の銅箔は貫通できたが $18 \mu m$ の銅箔は貫通できなかった場合は、そのパルス幅の値とその 1 パルス当たりのエネルギーの値の交点に○が印される。同様に、あるパルス幅とある 1 パルス当たりのエネルギーを持つレーザビームを照射して、 $12 \mu m$ の銅箔と $18 \mu m$ の銅箔が共に貫通できなかった場合は、そのパルス幅の値とそのエネルギーの値の交点に×が印される。図 2 に示されるレーザビームのパルス幅と 1 パルスのエネルギーとから、式 (1) を用いて、ピーク出力を算出すると、集光径が一定の場合、レ

一 ザ ピーム の ピーク 出力 が 高いほど 、 銅 箔 の 貫通 能力 が 高い こ とが わかる。

図 2 の グラフ を 参照 す る と 、 本 実施 の 形態 による レーザ 加工 方法 お い て 銅 箔 4 を 加工 し た レーザ ピーム (レーザ ピーム の パルス ON 時間 が $3 \mu s$ 、 1 パルス の レーザ エネルギ が $24 mJ$) は 、 厚さ $18 \mu m$ の 銅 箔 を 貫通 できるほど の 高い
5 ピーク 出力 ($8 kW$) を 有 し 、 本 実施 の 形態 による レーザ 加工 方法 で 使用 さ れ た 厚さ $12 \mu m$ の 銅 箔 も 充分 に 加工 できる。 すなわち 、 銅 箔 4 を 加工 する 場合 は 、 図 2 の グラフ お い て ◎ が 印 さ れ た レーザ ピーム 条件 (レーザ ピーム の ピーク 出力 が 約 $1 kW$ 以上) が 必要 である。

一方 、 本 実施 の 形態 による レーザ 加工 方法 お い て 銅 箔 6 を 加工 し た レーザ ピーム (レーザ ピーム の パルス ON 時間 が $40 \mu s$ 、 1 パルス の レーザ エネルギ が $8 mJ$) は 、 その ピーク 出力 ($200 W$) が 、 銅 箔 4 を 加工 し た レーザ ピーム の ピーク 出力 よりも 低く 、 図 2 の グラフ お い て 、 厚さ $12 \mu m$ の 銅 箔 も 充分 に 貫通 でき ない。

本 実施 の 形態 による レーザ 加工 方法 お い て 、 銅 箔 6 の レーザ ピーム が 照射 さ れる 表面 は 、 銅 箔 4 の 場合 と 異なり 、 樹脂 側 の 表面 である。 この 樹脂 側 の 表面 は 、 樹脂 と の 密着 性 を 向上 さ せる ため に 粗面 化 さ れ て おり 、 炭酸ガス レーザ の 反射率 は 、 60% ないし 70% である。 これは 、 炭酸ガス レーザ を 銅 箔 6 の 均一 な 表面 に 照射 し た 場合 の 反射率 (約 99%) よりも 低 い。 従って 、 本 実施 の 形態 による レーザ 加工 方法 お い て 銅 箔 6 を 加工 する 場合 は 、 銅 箔 4 を 加工 する ため に 必要 な 高い ピーク 出力 を 必要 と し ない。

しかし 、 銅 箔 6 は 、 銅 という 材料 の 特性 によ つて 、 热伝導 率 および 反射率 が 比較 的 高く 、 レーザ 加工 が 困難 な 材料 で ある こと に は 変わり が ない。 よって 、 銅 箔 6 を 加工 する ため に は 、 ある 程度 の ピーク 出力 が 必要 である。 例え ば 、 第 1 の 比較 実験 お い て 、 銅 箔 6 に 対し 、 絶縁 材 2 の 加工 時 と 同じ 低 ピーク 出力 ($100 W$) を 有 する レーザ ピーム を 照射 す る と 、 貫通 穴 14 内 に 銅 箔 6 の 突き出しが 発生 す る。

次 に 、 絶縁 材 2 を 加工 する 場合 の レーザ ピーム 条件 について 説明 す る。 絶縁 材 2 を 加工 する 場合 は 、 レーザ ピーム の ピーク 出力 を 、 銅 箔 4 および 銅 箔 6 を 加工 す る 場合 の レーザ ピーム の ピーク 出力 より 低く す る 必要 が ある。 まず 、 ガラスク

ロス 10 の貫通穴 14 内への突き出しに関連して、絶縁材 2 を加工するレーザビーム条件について説明する。

レーザ加工時において、レーザ光は、レーザ加工によって生じる除去物によって、吸収、屈折および散乱される。ここで、除去物とは、レーザビームを照射することによって溶融した樹脂やガラス、および、樹脂やガラスの燃焼による残渣等である。穴あけ加工の場合には、加工中に発生する除去物が穴の内部に閉じこめられるため、表面付近での加工と比較して、レーザ光の吸収、屈折および散乱が、より生じやすくなる。この吸収等の現象は、レーザビームのパワー密度が高くなるほど顕著になる。

もし、絶縁材 2 の加工にパワー密度の高いレーザビームを用いるなら、発生する除去物によって、レーザ光の吸収、屈折および散乱が非常に起こりやすくなる。そして、加工を行うレーザ光は、屈折および散乱されてパワー密度が低下する。ここで、エポキシ樹脂はガラスクロス 10 よりも加工されやすいため、パワー密度が低下したレーザ光は、貫通穴 14 の内壁のエポキシ樹脂のみを加工する。結果として、貫通穴 14 内にガラスクロス 10 の突出が発生する。例えば、第 2 および第 4 の比較実験において、絶縁材 2 の加工時に、銅箔 4 の加工時と同様 (8 kW) またはそれ以上のピーク出力 (10 kW) を有するレーザビームを照射すると、ガラスクロス 10 の突出が発生する。

銅箔 6 の加工に高ピーク出力のレーザビームを用いる場合にも、吸収等によるレーザ光のパワー密度の低下によって、銅箔 6 の加工が困難となり、貫通穴 14 内に銅箔 6 の突出が生じやすくなる。例えば、第 3 および第 4 の比較実験において、銅箔 6 に対し、銅箔 4 の加工時と同様 (8 kW) またはそれ以上のピーク出力 (10 kW) を有するレーザビームを照射すると、貫通穴 14 内に銅箔 6 の突き出しが発生する。

本実施の形態によるレーザ加工方法では、絶縁材 2 および銅箔 6 を加工する場合に、レーザビームのピーク出力を、銅箔 4 を加工する場合のレーザビームのピーク出力よりも低くするため、絶縁材 2 および銅箔 6 を加工する場合のパワー密度は、銅箔 4 を加工する場合のパワー密度よりも小さくなり、除去物によるレーザ光の吸収、屈折および散乱の発生が抑制できる。よって、ガラスクロス 10 や

銅箔 6 が、貫通穴 1 4 内に突出することを防ぐことができる。

次に、貫通穴 1 4 の形状に関連して、絶縁材 2 を加工するレーザビーム条件について説明する。銅箔 4 に加工穴 2 2 を形成し、その後、その同じ位置にレーザビームを照射すると、銅箔 4 の加工穴 2 2 においてレーザ光の回折現象が起こる。
5 この回折現象により、銅箔 4 を通過したレーザ光は、ある角度で拡がる。回折角度は、レーザ波長に比例し、加工穴 2 2 の直径に反比例する。

一般に、銅箔 4 の加工穴 2 2 を通り抜けたレーザ光は、回折により拡がって、パワー密度が低下する。しかし、銅箔 4 を加工できるレーザ光の最小パワー密度は、樹脂やガラスクロス 1 0 を加工できる最小パワー密度に比べて著しく大きい。
10 もし、樹脂やガラスクロス 1 0 の加工に、銅箔 4 の加工時のレーザビームと同様に、高ピーク出力のレーザビームを用いるなら、銅箔 4 の加工穴 2 2 を通過して拡がったレーザ光が、樹脂やガラスクロス 1 0 を加工するのに十分なパワー密度を持っているため、加工された貫通穴 1 4 は中膨れ形状になる。例えば、第 2 および第 4 の比較実験において、樹脂やガラスクロス 1 0 の加工時に、銅箔 4 の加工時と同様 (8 kW) またはそれ以上のピーク出力 (10 kW) を有するレーザビームを照射すると、加工された貫通穴 1 4 は中膨れ形状になる。
15

本実施の形態によるレーザ加工方法では、銅箔 4 を加工した後、絶縁材 2 を加工する場合に、ピーク出力の低いレーザビームを照射することにより、回折光のパワー密度を、樹脂やガラスクロス 1 0 を加工できる最小パワー密度以下にする。
20 これにより、貫通穴 1 4 が中膨れ形状になることを防ぐことができる。

なお、本実施の形態によるレーザ加工方法においては、加工点におけるレーザビーム径が一定であり、レーザビームのピーク出力を変化させることにより、パワー密度を変化させた。しかし、式 (2) によれば、加工点におけるレーザビーム径を可変にしても、パワー密度を変化させることができる。本実施の形態による方法においても、加工点におけるレーザビーム径を変えて、パワー密度を変化させることができる。例えば、絶縁材 2 を加工する場合にパワー密度を低下させるために、絶縁材 2 に、銅箔 4 に照射したレーザビームよりも加工点におけるビーム径の大きいレーザビームを照射してもよい。絶縁材 2 に、銅箔 4 に照射したレーザビームよりも加工点におけるビーム径の大きいレーザビームを照射しても、
25

銅箔4に形成された加工穴22の外側に照射したレーザビームは、銅箔4によつて反射され、絶縁材2に照射されるレーザビームのビーム径が、銅箔4を加工した場合のレーザビーム径に等しくなる。よつて、加工点におけるレーザビーム径を可変にしても、断面における穴径が一定の貫通穴14を形成することが可能である。

次に、レーザビームのパルス幅の値の設定について説明する。一般的に、パルス化されたレーザビームを用いるレーザ加工において、レーザビームのパルス幅は、レーザビームの照射時間に等しい。よつて、被加工物において、レーザビームのパルス幅が短いほど、1パルス当たりの除去深さは浅くなり、レーザビームのパルス幅が長いほど、1パルス当たりの除去深さが深くなる。そのため、本実施の形態による方法において、銅箔4を加工する場合は、銅箔4を深く加工しうるまで絶縁材2に達しないように、レーザビームのパルス幅を3μs程度まで短くする。また、絶縁材2を加工する場合は、1パルス当たりの除去深さを深くして効率良く加工するためにレーザビームのパルス幅を100μm程度まで長くする。

さらに、本実施の形態による方法において、銅箔6を加工する場合は、レーザビームのパルス幅を、30μs乃至50μs程度に設定する。これは、銅箔6にこの範囲のパルス幅より小さいパルス幅のレーザビームを照射すると、加工の効率が低下し、銅箔6にこの範囲のパルス幅より大きいパルス幅のレーザビームを照射すると、溶融する銅が増加して、貫通穴14の開口部付近にその溶融した銅が残留しやすくなるから（実施の形態7を参照）である。

レーザビームのピーク出力を変化させるためには、1パルスのレーザエネルギーを変えることも考えられるが、本実施の形態によるレーザ加工方法においては、レーザ加工中にレーザビームのパルス幅を変えることにより、レーザビームのピーク出力（パワー密度）とレーザビームの照射時間を同時に変化させて、積層材料の一部が貫通穴14内へ突き出すことの抑制と加工時間の短縮とを両立させることができる。

なお、本実施の形態によるレーザ加工方法では、最上層および最下層が導体層であるプリント基板1を用いたが、その最上層の導体層の上、および／または、その最下層の導体層の下に、さらに絶縁層が形成されていてもよい。その場合で

あっても、本実施の形態によるレーザ加工方法を適用することができ、同様の効果が得られる。

<実施の形態2>

図3に、本発明の実施の形態2による積層材料レーザ加工方法の工程を図式的に示す。本実施の形態において、積層材料とは、実施の形態1で用いたプリント基板1と同様に、厚さ0.4mmの両面銅張り(銅箔厚さ12μm)プリント基板(ガラスエポキシ基板)1である。図3において、図1におけるプリント基板1の構造と同じ構造には、同じ符号を付す。図3に示される工程においては、このプリント基板1に、炭酸ガスレーザのパルス化したレーザビームを照射して、貫通穴14を形成する。

本実施の形態によるレーザ加工方法では、銅箔4を加工する場合の加工点におけるレーザビーム径と、絶縁材2および銅箔6を加工する場合の加工点におけるレーザビーム径は異なる。これは、図4に示されるレーザ加工装置によって実現される。図4は、加工点におけるレーザビーム径を変更できるレーザ加工装置100を図式的に示す図である。レーザ加工装置100は、パルス炭酸ガスレーザ発振器102、転写マスク104、位置決めミラー(ガルバノミラー)106、転写レンズ108、加工テーブル110を備える。さらに、レーザ加工装置100は、上述の構成要素の動作を電気的に制御する制御装置112を備える。例えば、制御装置112は、パルス炭酸ガスレーザ発振器110に、所望のパルス幅や所望の1パルスのエネルギーを有するパルス化されたレーザビームを発振させる。また、制御装置112は、位置決めミラー106の回転を制御し、転写マスク104および転写レンズ108の光路上の位置決めを行う。さらに、制御装置112は、加工テーブル110を、プリント基板1が設置される平面に平行に移動させる。図4においては、簡略化のため、それらの構成要素の各々と制御装置112との接続を省略する。

以下に、このレーザ加工装置100の動作を説明する。まず、Φ1.8mmの転写マスク104、および、転写レンズ108を使用し、レーザ光を、銅箔4に、Φ120μm程度に結像する。詳しく説明すると、パルス炭酸ガスレーザ発振器102から出射したレーザビーム120の一部は、転写マスク104を通過し、

2枚の位置決めミラー106を経て、転写レンズ108に到達する。2枚の位置決めミラー106は、レーザビームの転写レンズ108への入射角（入射位置）を決める。転写レンズ108は、入射されたレーザ光を集光し、加工テーブル110上に設置したプリント基板1上に転写マスク104の像を結像する。プリント基板1の位置決めは、プリント基板1が設置された加工テーブル110が移動することによって行われる。最初に、レーザビームのパルスON時間を $3\mu s$ 、1パルスのレーザエネルギーを $24mJ$ と設定し、そのレーザビームを1パルス照射して、銅箔4に $\phi 100\mu m$ の加工穴22を形成する（図3）。

次に、転写マスク104を $\phi 1.2mm$ に変えて、レーザビームを、パルスON時間を $100\mu s$ 、1パルスのレーザエネルギーを $10mJ$ と設定して、加工穴22と同じ位置に4パルス照射し、絶縁材2を加工する。さらに、同じ位置に、レーザビームのパルスON時間を $40\mu s$ 、1パルスのレーザエネルギーを $8mJ$ と設定して、そのレーザビームを1パルス照射し、銅箔6を加工する。ここで、加工点でのレーザビームのビーム径は、 $\phi 100\mu m$ 程度である。これにより、プリント基板1に貫通穴14を形成する。

この貫通穴14の断面を顕微鏡により観察すると、穴径がほとんど変化せず、その穴の中心軸線の方向がレーザビームの光軸方向に一致する。また、貫通穴14内において、レーザ光入射側の銅箔4およびガラスクロス10の穴内への突き出しあほとんど存在せず、レーザ光出射側の銅箔6の穴内への突き出しあ $5\mu m$ 以下であった。

本実施の形態によるレーザ加工方法においては、少なくとも絶縁材2および銅箔6にレーザビームを照射する場合に、銅箔4に形成された加工穴22の径よりも小径のレーザビームを照射する。これにより、加工穴22によるレーザビームの回折の発生が抑制され、貫通穴14が中膨れ形状になることを防ぐことができる。

また、本実施の形態によるレーザ加工方法において、加工穴22によるレーザビームの回折の発生が抑制されることにより、レーザ光入射側の銅箔4の貫通穴14内への突き出しあ防止できる。

なお、レーザ加工装置100においては、転写マスク104を、途中で $\phi 1.$

8 mmのものから ϕ 1. 2 mmのものへ交換して、加工点におけるレーザビーム径を変化させている。しかし、転写マスク 104 の代わりに、図 5 に示されるような開口径連続可変ビーム絞りを用いてもよい。この開口径連続可変絞りを制御装置 112 に接続して、その開口径を制御することにより、プリント基板 1 の加工点におけるレーザビーム径を簡単に変えることができ、上述のレーザ加工方法を容易に実現できる。また、レーザ加工の加工時間を短縮できる。

なお、本実施の形態によるレーザ加工方法は、プリント基板 1 に貫通穴 14 を形成する場合について説明されたが、プリント基板 1 において止まり穴を形成したり、溝加工を行ったりする場合に適用されても同様の効果が得られる。例えば、銅箔 4 にレーザビームを照射して加工穴 22 を形成した後、絶縁材 2 に、その銅箔 4 に照射したレーザビームよりも加工点におけるビーム径が小さいレーザビームを照射して加工を行うことにより、止まり穴や溝の形状が、台形等の所望の形状と異なる形状になることを防止でき、レーザ光入射側の銅箔 4 の止まり穴内や溝内への突き出しを防止できる。

なお、本実施の形態によるレーザ加工方法では、最上層および最下層が導体層であるプリント基板 1 を用いたが、その最上層の導体層の上、および／または、その最下層の導体層の下に、さらに絶縁層が形成されていてもよい。その場合であっても、本実施の形態によるレーザ加工方法を適用することができ、同様の効果が得られる。

なお、本実施の形態によるレーザ加工方法においては、パルス化されたレーザビームを用いて加工を行ったが、連続発振のレーザビームを用いた場合であっても、レーザ加工におけるパワー密度や加工点におけるレーザビーム径を変えることによって、同様の効果が得られる。その場合には、炭酸ガスレーザ発振器 110 は、レーザビームを連続発振する。

25 <実施の形態 3>

図 6 に、本実施の形態 3 による積層材料のレーザ加工装置 200 の構成を図式的に示す。レーザ加工装置 200 は、図 4 におけるレーザ加工装置 100 に、光路長調整用凸V型ミラー（以下、「凸V型ミラー」という。）122 と光路長調整用凹V型ミラー（以下、「凹V型ミラー」という。）124 とが付加されたも

のである。図6において、図4のレーザ加工装置100と同じ構成には同一の符号を付し、説明を省略する。このレーザ加工装置200を用いて、実施の形態2のレーザ加工方法と同じ方法で、プリント基板1のレーザ加工を行う（図3）。

ここで、凸V型ミラー122は、2つの反射面がV字型に結合されて凸型の反射面を形成する光学素子であり、凹V型ミラー124は、2つの反射面がV字型に結合されて凹型の反射面を形成する光学素子である。レーザ加工装置200において、凸V型ミラー122と凹V型ミラー124を、転写マスク104と位置決めミラー106との間の光路中に設置することにより、光路長を変化させる。本実施の形態によるレーザ加工装置200においては、凸V型ミラー122の2つの反射面のなす角度、および、凹V型ミラー124の2つの反射面のなす角度は90度である。そして、凸V型ミラー122の一方（第1）の反射面が、転写マスク104を通過したレーザ光と45度の角度をなすように設置される。転写マスク104を通過したレーザ光は、この凸V型ミラー122の第1の反射面によって、凹V型ミラー124に向けて反射される。この凸V型ミラー122の反射面におけるレーザ光の入射方向と反射方向との間の角度は90度である。凸V型ミラー122によって反射されたレーザ光は、凹V型ミラー124の一方（第1）の反射面に到達する。ここで、その凹V型ミラー124の第1の反射面は、凸V型ミラー122の第1の反射面によって反射された反射光と45度の角度をなすように設置されている。レーザ光は、この凹V型ミラー124の第1の反射面によって再び反射される。凹V型ミラー122の第1の反射面におけるレーザ光の入射方向と反射方向との間の角度は90度である。凹V型ミラー124の第1の反射面によって反射されたレーザ光は、凹V型ミラー124の他方（第2）の反射面に到達する。そして、凹V型ミラー124の第2の反射面に到達したレーザ光は、この反射面によって、凸V型ミラー122に向けて反射される。凹V型ミラー124の第2の反射面におけるレーザ光の入射方向と反射方向との間の角度は90度である。凹V型ミラー124の第2の反射面によって反射されたレーザ光は、凸V型ミラー122の第2の反射面に到達する。凸V型ミラー122の第2の反射面は、受け取ったレーザ光を反射して、位置決めミラー106に導く。凸V型ミラー122の第2の反射面におけるレーザ光の入射方向と反射方向

との間の角度は90度である。以上の構成により、凸V型ミラー122を固定して、凹V型ミラー124を、凸V型ミラー122と凹V型ミラー124との間のレーザ光に平行に移動させることにより、レーザ加工装置200における光路長を変化させることができる。

5 以下に、このレーザ加工装置200の動作を説明する。まず、 $\phi 1.8\text{ mm}$ の転写マスク104、および、転写レンズ108を使用し、レーザ光を、銅箔4に、 $\phi 120\mu\text{m}$ 程度に結像する。これについて、以下に詳細に説明する。パルス炭酸ガスレーザ発振器102から出射したレーザビーム120の一部は、転写マスク104を通過し、凸V型ミラー122、凹V型ミラー124、および、2枚の位置決めミラー106を経て、転写レンズ108に到達する。2枚の位置決めミラー106は、レーザビームの転写レンズ108への入射角（入射位置）を決める。転写レンズ108は、入射されたレーザ光を集光し、加工テーブル110上に設置したプリント基板1上に転写マスク104の像を結像する。最初に、レーザビームのパルスON時間を $3\mu\text{s}$ 、1パルスのレーザエネルギーを 24 mJ と設定して、そのレーザビームを1パルス照射し、銅箔4に $\phi 100\mu\text{m}$ の加工穴22を形成する。

次に、転写マスクは $\phi 1.8\text{ mm}$ のままで、凸V型ミラー122を固定して、凹V型ミラー124を、凸V型ミラー122と凹V型ミラー124との間のレーザ光に平行に、凸V型ミラー122から離れるように移動させる。かつ、転写レンズ108と加工テーブル110上に設置したプリント基板1との距離を近づける。これらの構成要素の位置決めは、制御装置112によって行われる。そして、レーザビームを、パルスON時間を $3\mu\text{s}$ 、1パルスのレーザエネルギーを 11 mJ と設定して、加工穴22と同じ位置に4パルス照射し、絶縁材2を加工する。さらに、その同じ位置に、レーザビームのパルスON時間を $40\mu\text{s}$ 、1パルスのレーザエネルギーを 8 mJ と設定して、そのレーザビームを1パルス照射し、銅箔6を加工する。ここで、加工点でのレーザビームのビーム径は、 $\phi 100\mu\text{m}$ 程度である。これにより、プリント基板1に貫通穴14を形成する。

転写マスク104と転写レンズ108と間の光路長を変化させることによって、加工点でのビーム径が変化する理由について述べる。図7に結像光学系の基本構

成を図式的に示す。マスク 30（転写マスク 104）を通過したレーザビーム 3
2は、結像レンズ 34（転写レンズ 104）により、結像点 36（プリント基板
1における加工点）に集光される。この光学系において、式（3）の関係が成り
立つ。

5

$$1/a + 1/b = 1/f \quad (3)$$

a：マスク 30と結像レンズ 34の正面との間の距離（以下、「マスク－レンズ
間距離」という。）

b：結像レンズ 34の正面と結像点 36との間の距離（以下、「レンズ－結像点
間距離」という。）

10

f：結像レンズ 34の焦点距離

式（3）によると、マスク 30の像は、マスクの b/a 倍の大きさで結像され
る（横倍率 $\beta = b/a$ ）。ここで、横倍率 β を、マスク－レンズ間距離 a と焦点
距離 f とによって示すと、式（4）の関係が成り立つ。

$$\beta = f / (a - f) \quad (4)$$

15

式（4）により、焦点距離 f が一定の場合、マスク－レンズ間距離 a を可変と
することで、横倍率 β を連続的に変化させることができる。従って、転写マスク
104（マスク 30）と転写レンズ 108（結像レンズ 34）との間の光路長を
可変にすることによって、加工点でのビーム径が変化する。

20

また、レンズ－結像点間距離 b を、マスク－レンズ間距離 a と焦点距離 f とに
よって示すと、式（5）の関係が成り立つ。

$$b = f a / (a - f) \quad (5)$$

25

式（5）により、焦点距離 f が一定の場合、マスク－レンズ間距離 a を可変と
すると、レンズ－結像点間距離 b も変化させる必要がある。従って、転写マスク
104と転写レンズ 108との間の光路長を変化させると同時に、転写レンズ 1
08と加工テーブル 110上に設置したプリント基板 1との間の距離を変化させ
る必要がある。本実施の形態によるレーザ加工装置 200においては、凸V型ミ
ラー 122と凹V型ミラー 124との間の距離を変化させることにより、上述の
マスク－レンズ間距離 a を変更できる。また、その変化に連動して、転写レンズ
108と加工テーブル 110上に設置したプリント基板 1との距離を変化させる

ことにより、上述のレンズ-結像点間距離 b を変更できる。

本実施の形態によるレーザ加工装置 200においては、凸V型ミラー 122 および凹V型ミラー 124 を用いて、転写マスク 104 と転写レンズ 108 との間の光路長を変化させ、加工点のビーム径を変化させる。最も簡単に上述の転写マスク 104 と転写レンズ 108 との間の光路長を変える方法としては、実施の形態 2 で説明されたレーザ加工装置 100において、制御装置 112 等を用いて転写マスク 104 の位置を移動させる方法がある。しかし、転写マスク 104 を大きく稼動できるようにすれば、レーザ加工装置 200 の外形が大きくなる。例えば、転写倍率を $2/3$ にしようとするとき、転写マスク 104 と転写レンズ 108 との間の距離を、ほぼ 1.5 倍にする必要がある。本実施の形態によるレーザ加工装置 200 のように、凸V型ミラー 122 および凹V型ミラー 124 を用いて、転写マスク 104 と転写レンズ 108 との間の光路を迂回させて光路長を調節できるようにすれば、装置の外形の拡大が低減できる。

なお、本実施の形態によるレーザ加工装置を用いた場合であっても、実施の形態 2 で説明された効果と同様の効果が得られる。

＜実施の形態 4＞

図 8 に、本実施の形態 4 による積層材料のレーザ加工装置 300 の構成を図式的に示す。レーザ加工装置 300 は、図 4 におけるレーザ加工装置 100 に、倍率調整用反射面形状可変反射ミラー（以下、「反射面形状可変反射ミラー」という。）132 および反射面形状可変反射ミラー 134 が付加されたものである。反射面形状可変反射ミラーは、その反射面の形状を変化させることにより、入射するレーザビームのビーム広がり角を制御できるミラーである。この 2 つの反射面形状可変反射ミラー（132、134）は、転写マスク 104 と位置決めミラー 106 との間の光路中に設置され、その反射面の形状変化が制御装置 112 によって制御される。図 8 において、図 4 のレーザ加工装置 100 と同じ構成には同一の符号を付し、説明を省略する。このレーザ加工装置 300 を用いて、実施の形態 2 のレーザ加工方法と同じ方法で、プリント基板 1 のレーザ加工を行う（図 3）。

以下に、このレーザ加工装置 300 の動作を説明する。まず、 $\phi 1.8 \text{ mm}$ の

転写マスク 104、および、転写レンズ 108 を使用し、レーザ光を、銅箔 4 に、 $\phi 120 \mu\text{m}$ 程度に結像する。これについて、以下に詳細に説明する。パルス炭酸ガスレーザ発振器 102 から出射したレーザビーム 120 の一部は、転写マスク 104 を通過し、反射面形状可変反射ミラー 132、反射面形状可変反射ミラー 134、および、2 枚の位置決めミラー 106 を経て、転写レンズ 108 に到達する。最初、反射面形状可変反射ミラー 132 および反射面形状可変反射ミラー 134 の反射面は共に平坦であり、通常の反射ミラーとして動作する。2 枚の位置決めミラー 106 は、レーザビームの転写レンズ 108 への入射角（入射位置）を決める。転写レンズ 108 は、入射されたレーザ光を集光し、加工テーブル 110 上に設置したプリント基板 1 上に転写マスク 104 の像を結像する。最初に、レーザビームのパルス ON 時間を $3 \mu\text{s}$ 、1 パルスのレーザエネルギーを 24 mJ と設定して、そのレーザビームを 1 パルス照射し、銅箔 4 に $\phi 100 \mu\text{m}$ の加工穴 22 を形成する。

次に、転写マスクは $\phi 1.8 \text{ mm}$ のままで、反射面形状可変反射ミラー 132 の反射面を凸面に変化させ、反射面形状可反射ミラー 134 の反射面を凹面に変化させる。これにより、反射面形状可変反射ミラー 132 および反射面形状可変反射ミラー 134 は、それぞれ、ビーム広がり角 136° およびビーム広がり角 138° を制御する。そして、ビーム広がり角が制御されたレーザビームを、パルス ON 時間を $3 \mu\text{s}$ 、1 パルスのレーザエネルギーを 11 mJ と設定して、加工穴 22 と同じ位置に 4 パルス照射し、絶縁材 2 を加工する。さらに、その同じ位置に、レーザビームのパルス ON 時間を $40 \mu\text{s}$ 、1 パルスのレーザエネルギーを 8 mJ と設定して、そのレーザビームを 1 パルス照射し、銅箔 6 を加工する。ここで、加工点でのレーザビームのビーム径は、 $\phi 100 \mu\text{m}$ 程度である。これにより、プリント基板 1 に貫通穴 14 を形成する。

反射面形状可変反射ミラー 132 および反射面形状可変反射ミラー 134 のそれぞれの反射面形状を変化させることによって、加工点でのビーム径が変化する理由について述べる。図 9 において、マスク 40（転写マスク 104）を通過したレーザビーム 42 のビーム広がり角は、結像レンズ 48（転写レンズ 108）

への入射前に、曲面形状を変化させた2枚のミラー（反射面形状可変反射ミラー132）44およびミラー（反射面形状可変反射ミラー134）46によって変化する。これは、見かけ上、結像レンズ48のレンズ位置が移動したことに相当する。このとき、次の式（6）が成り立つ。

$$\begin{aligned} 5 \quad a + b &= a_1 + b_1 \\ \beta &= b_1 / a_1 \end{aligned} \quad (6)$$

a : マスク40と結像レンズ48の主面との間の距離（マスクーレンズ間距離）

b : 結像レンズ48の主面と結像点52（プリント基板1における加工点）との間の距離（レンズー結像点間距離）

10 a₁ : マスク40と見かけ上のレンズ50の主面との間の距離（以下、「見かけ上のマスクーレンズ間距離」という。）

b₁ : 見かけ上のレンズ50の主面と結像点52との間の距離（以下、「見かけ上のレンズー結像点間距離」という。）

15 式（6）により、横倍率βは、見かけ上のマスクーレンズ間距離a₁と見かけ上のレンズー結像点間距離b₁によって決まる。従って、反射面形状可変反射ミラー132および反射面形状可変反射ミラー134の反射面の形状を変化させることにより、見かけ上のマスクーレンズ間距離a₁および見かけ上のレンズー結像点間距離b₁を連続的に変化させることができるので、結果として、横倍率βを連続的に変化させることができる。

20 なお、反射面形状可変反射ミラー132および反射面形状可変反射ミラー134の反射面形状は、図10に示されるように、それぞれ、回転双曲面の一部である。回転双曲面の反射面を用いると、反射面からマスク60までの距離と、反射面からマスクの虚像62までの距離が異なるので、結果として、レーザビーム64のビーム広がり角を変えることができる。図11に、本実施の形態によるレーザ加工装置300において用いられた反射面形状可変反射ミラー（132、134）の構成を図式的に示す。図11において、反射ミラー66は、裏面の一点で圧電素子68と接合されている。この圧電素子68に、制御装置112を利用して、電圧を印可すると、圧電素子68が伸縮し、反射ミラー66の裏面に外力を加える。反射ミラー66は、圧電素子68によって外力が加えられた場合に、そ

の反射面形状が所望の形状（凸型または凹型の回転双曲面の一部をなす形状）になるように構成される。

本実施の形態によるレーザ加工装置 300においては、圧電素子 68 によってその反射面が凸型または凹型に変形される反射ミラー 66 を用いるため、転写倍率を高速で変化させることができる。従って、加工時間を短縮させることができる。
5

なお、本実施の形態によるレーザ加工装置 300においては、反射面形状可変反射ミラー 132 の反射面および反射面形状可変反射ミラー 134 の反射面を、それぞれ、凸型および凹型に変化させたが、両方を凹型に変化させても、加工点
10におけるビーム径を変化させることができる。

なお、本実施の形態によるレーザ加工装置 300 を用いて図 3 に示される工程でレーザ加工する場合、銅箔 4 の穴あけ加工を行った後に、2枚の反射面形状可変反射ミラー（132、134）の反射面を変形させて絶縁材 2 と銅箔 6 を加工したが、逆に、2枚の反射面形状可変反射ミラー（132、134）の反射面を変形させて銅箔 4 の穴あけ加工を行った後に、それらの反射面の変形を解除して、その反射面を平坦にして絶縁材 2 と銅箔 6 を加工しても、同様の効果が得られる。
15

なお、本実施の形態によるレーザ加工装置を用いた場合であっても、実施の形態 2 で説明された効果と同様の効果が得られる。

20 <実施の形態 5>

図 12 に、本実施の形態 5 による積層材料のレーザ加工装置 400 の構成を図式的に示す。レーザ加工装置 400 は、図 4 におけるレーザ加工装置 100 に、開口径連続可変ビーム絞り 142（図 5）が付加されたものである。この開口径連続可変ビーム絞り 142 は、転写マスク 104 と位置決めミラー 106 との間の光路中に設置され、その開口径が制御装置 112 によって制御される。図 12 において、図 4 のレーザ加工装置 100 と同じ構成には同一の符号を付し、説明を省略する。このレーザ加工装置 400 を用いて、実施の形態 2 のレーザ加工方法と同じ方法で、プリント基板 1 のレーザ加工を行う（図 3）。

以下に、このレーザ加工装置 400 の動作を説明する。まず、 $\phi 1.2\text{ mm}$ の

転写マスク 104、開口径連続可変ビーム絞り 142 および転写レンズ 108 を使用し、レーザ光を、銅箔 4 に、 $\phi 120 \mu\text{m}$ 程度に結像する。これについて、以下に詳細に説明する。パルス炭酸ガスレーザ発振器 102 から出射したレーザビーム 120 の一部は、転写マスク 104 を通過し、開口径連続可変ビーム絞り 142 によって絞られる。開口径連続可変ビーム絞り 142 は、転写マスク 104 によって回折されて広がったレーザビームのビーム径を絞る。ここで、開口径連続可変ビーム絞り 142 は、転写マスク 104 から距離 1200 mm の位置に設置され、その開口径は $\phi 18 \text{mm}$ である。開口径連続可変ビーム絞り 142 によって絞られたレーザ光は、2 枚の位置決めミラー 106 を経て、転写レンズ 108 に到達する。2 枚の位置決めミラー 106 は、レーザビームの転写レンズ 108 への入射角（入射位置）を制御する。転写レンズ 108 は、入射されたレーザ光を集光し、加工テーブル 110 上に設置したプリント基板 1 上に転写マスク 104 の像を結像する。最初に、レーザビームのパルス ON 時間を $3 \mu\text{s}$ 、1 パルスのレーザエネルギーを 24mJ と設定して、そのレーザビームを 1 パルス照射し、銅箔 4 に $\phi 100 \mu\text{m}$ の加工穴 22 を形成する（図 3）。

次に、転写マスクは $\phi 1.2 \text{mm}$ のままで、制御装置 112 を利用して、開口径連続可変ビーム絞り 142 の開口径を、 $\phi 36 \text{mm}$ まで広げる。そして、レーザビームを、パルス ON 時間を $3 \mu\text{s}$ 、1 パルスのレーザエネルギーを 11mJ と設定して、加工穴 22 と同じ位置に 4 パルス照射し、絶縁材 2 を加工する。さらに、その同じ位置に、レーザビームのパルス ON 時間を $40 \mu\text{s}$ 、1 パルスのレーザエネルギーを 8mJ と設定して、そのレーザビームを 1 パルス照射し、銅箔 6 を加工する。ここで、加工点でのレーザビームのビーム径は、 $\phi 100 \mu\text{m}$ 程度である。これにより、プリント基板 1 に貫通穴 14 を形成する。

開口径連続可変ビーム絞り 142 の開口径を変化させることによって、加工点でのビーム径が変化する理由について述べる。図 13 に開口とレンズとによる集光状態を図式的に示す。開口 72（開口径連続可変ビーム絞り 142）に平行なレーザビーム 70 が照射された場合、開口 72 を通過したレーザビームは、レンズ 74（転写レンズ 108）によって絞られる。レンズ 74 によって絞られる集光点（プリント基板 1 における加工点）でのビーム径 d は次の式（7）によって

表される。

$$d = 2.44 \times \lambda \times f / D \quad (7)$$

λ : レーザビームの波長

f : レンズの焦点距離

5 D : 開口径

式(7)により、開口径Dと集光点でのビーム径dとは反比例の関係にあることがわかる。よって、開口径Dを大きくすれば集光点でのビーム径dを小さくすることができ、開口径Dを小さくすれば集光点でのビーム径dを大きくすることができます。

10 本実施の形態によるレーザ加工装置400においては、開口径連続可変ビーム絞り142を設置したことにより、図4のレーザ加工装置100における転写マスク104を、径の異なる別の転写マスクに交換する手間を省くことができる。また、レーザ加工の加工時間を短縮できる。さらに、本実施の形態によるレーザ加工装置400においては、開口径連続可変ビーム絞り142を用いて、連続的に転写マスク104によって回折されて広がったレーザ光を絞るため、より精度良く積層材料の加工点におけるビーム径を変化させることができる。

15

なお、本実施の形態によるレーザ加工装置を用いた場合であっても、実施の形態2で説明された効果と同様の効果が得られる。

<実施の形態6>

20 図14に、本実施の形態6による積層材料のレーザ加工装置500の構成を図式的に示す。レーザ加工装置500は、図4におけるレーザ加工装置100の転写レンズ108が、焦点距離可変転写レンズ150に置き換えられたものである。焦点距離可変転写レンズ150の焦点距離は、制御装置112によって制御される。図14において、図4のレーザ加工装置100と同じ構成には同一の符号を付し、説明を省略する。このレーザ加工装置500を用いて、実施の形態2のレーザ加工方法と同じ方法で、プリント基板1のレーザ加工を行う(図3)。

25

以下に、このレーザ加工装置500の動作を説明する。まず、Φ1.8mmの転写マスク104、および、焦点距離可変転写レンズ150を使用し、レーザ光を、銅箔4に、Φ120μm程度に結像する。これについて、以下に、詳細に説

明する。パルス炭酸ガスレーザ発振器 102 から出射したレーザビーム 120 の一部は、転写マスク 104 を通過し、2 枚の位置決めミラー 106 を経て、焦点距離可変転写レンズ 150 に到達する。2 枚の位置決めミラー 106 は、レーザビームの焦点距離可変転写レンズ 150 への入射角（入射位置）を決める。焦点距離可変転写レンズ 150 は、入射されたレーザ光を集光し、加工テーブル 110 上に設置したプリント基板 1 上に転写マスク 104 の像を結像する。ここで、レーザビームのパルス ON 時間を $3 \mu s$ 、1 パルスのレーザエネルギーを $24 mJ$ と設定して、そのレーザビームを 1 パルス照射し、銅箔 4 に $\phi 100 \mu m$ の加工穴 22 を形成する。

次に、転写マスクは $\phi 1.8 mm$ のままで、焦点距離可変転写レンズ 150 の焦点距離を縮め、レーザビームを、パルス ON 時間を $3 \mu s$ 、1 パルスのレーザエネルギーを $11 mJ$ と設定して、加工穴 22 と同じ位置に 4 パルス照射し、絶縁材 2 を加工する。さらに、同じ位置に、レーザビームのパルス ON 時間を $40 \mu s$ 、1 パルスのレーザエネルギーを $8 mJ$ と設定して、そのレーザビームを 1 パルス照射し、銅箔 6 を加工する。ここで、加工点でのレーザビームのビーム径は、 $\phi 100 \mu m$ 程度である。これにより、プリント基板 1 に貫通穴 14 を形成する。

焦点距離可変転写レンズ 150 の焦点距離を変化させることによって、加工点でのビーム径が変化する理由について述べる。ここで、焦点距離可変転写レンズ 150 の焦点距離を、焦点距離 f から、新たに焦点距離 f_2 に変化させたとすると、図 7 および式 (3) を参照して、以下の式 (8) が成立つ。

$$1/a_2 + 1/b_2 = 1/f_2 \quad (8)$$

a_2 : 新たなマスク（転写マスク 104）と結像レンズ（転写レンズ 108）の主面との間の距離（以下、「新たなマスク—レンズ間距離」という。）
 b_2 : 新たな結像レンズの主面と結像点（プリント基板 1 における加工点）との間の距離（以下、「新たなレンズ—結像点間距離」という。）

なお、レーザ加工装置 500においては、マスク—レンズ間距離 a + レンズ—結像点間距離 b = (一定) の関係が成立つので、式 (9) の関係が成立つ。

$$a + b = a_2 + b_2 \quad (9)$$

新たなマスク－レンズ間距離 a_2 と新たなレンズ－結像点間距離 b_2 は、式

(8) および式 (9) を満たすように変更される。焦点距離 f_2 を変化させることにより、新たなマスク－レンズ間距離 a_2 および新たなレンズ－結像点間距離 b_2 が変化すると、横倍率 β ($\beta = b_2 / a_2$) も変化するので、加工点でのビーム径を連続的に変化させることができる。

焦点距離可変転写レンズ 150 は、図 15 に示すように、2 枚以上のレンズから成る組レンズである。組レンズのそれぞれのレンズ間隔は制御装置 112 によって制御され、そのそれぞれのレンズ間隔を変化させることによって、焦点距離可変転写レンズ 150 自体の焦点距離を変えることができる。

本実施の形態によるレーザ加工装置 500においては、焦点距離可変転写レンズ 150 を採用することにより、図 4 のレーザ加工装置 100 における転写マスク 104 を、径の異なる別の転写マスクに交換する手間を省くことができる。また、レーザ加工の加工時間を短縮できる。

なお、本実施の形態によるレーザ加工装置を用いた場合であっても、実施の形態 2 で説明された効果と同様の効果が得られる。

<実施の形態 7>

図 16 に、本発明の実施の形態 7 による積層材料レーザ加工方法の工程を図式的に示す。本実施の形態において、積層材料とは、実施の形態 1 で用いたプリント基板 1 と同様に、厚さ 0.4 mm の両面銅張り（銅箔厚さ 12 μm ）プリント基板（ガラスエポキシ基板）1 である。図 16 において、図 1 におけるプリント基板 1 の構造と同じ構造には、同じ符号を付す。さらに、本実施の形態によるレーザ加工方法においては、プリント基板 1 のビーム出射側の銅箔 6 に、吸収層として厚さ 80 μm の PET シート 90 が貼り付けられる。このプリント基板 1 に、炭酸ガスレーザのパルス化したレーザビームを照射して、 $\phi 100 \mu\text{m}$ の貫通穴 14 を形成する

まず、銅箔 4 にレーザ光を照射し、銅箔 4 の表面に加工穴 22 を形成する。この時、レーザビームのパルス ON 時間を 3 μs 、1 パルスのレーザエネルギーを 24 mJ とし、そのレーザビームを 1 パルス照射することによって、銅箔 4 に $\phi 100 \mu\text{m}$ の加工穴 22 を形成する。

次に、加工穴 22 と同じ位置に、レーザビームのパルス ON 時間を $100 \mu s$ 、
1 パルスのレーザエネルギーを $10 mJ$ と設定して、そのレーザビームを 4 パルス
照射し、絶縁材 2 を加工する。さらに、その同じ位置に、レーザビームのパルス
ON 時間を $40 \mu s$ 、1 パルスのレーザエネルギーを $8 mJ$ と設定して、そのレー
5 ザビームを 1 パルス照射し、銅箔 6 を加工する。

この貫通穴 14 の断面を顕微鏡により観察すると、穴径がほとんど変化せず、
その穴の中心軸線の方向がレーザビームの光軸方向に一致する。また、貫通穴 1
4 内において、レーザ光入射側の銅箔 4、レーザ光出射側の銅箔 6、および、ガ
ラスクロス 10 の突き出しがほとんど存在しないことがわかった。

10 また、銅箔 6 の穴径は、PET 90 付きプリント基板 1 において、最大 100
 μm 、最小 $90 \mu m$ と測定された。一方、PET 90 を貼り付けない通常のプリ
ント基板 1 を同じレーザビーム条件で加工した場合、測定された穴径は、最大 1
 $00 \mu m$ 、最小 $80 \mu m$ であった。

本実施の形態による方法において、銅箔 6 に PET シート 90 を貼り付けて穴
15 あけ加工を行うことにより、銅箔 6 の穴径のばらつきを低減できる。これは、貫
通穴 14 の出口付近において溶融かつ再凝固した銅箔 6 の滞留が抑制されること
による。以下に、詳細に説明する。レーザビームの照射によって銅箔 6 の温度が
上昇し、銅箔 6 が溶融する時には、銅箔 6 に貼り付けられた PET 90 は、すで
に気化を始めている（ちなみに、絶縁材 2 は、銅箔 6 よりも沸点が高いので変化
20 はない）。溶融した銅箔 6 は、PET 90 が気化する場合に、PET 90 と共に、
その位置から若しくは貫通穴 14 を通り抜けて、プリント基板 1 の外部に吹き飛
ばされる。従って、溶融した銅箔 6 は、貫通穴 14 の出口付近に留まらない。

なお、本実施の形態による積層材料のレーザ加工方法は、実施の形態 1 による
方法と同様の効果が得られる。

25 なお、銅箔 6 に PET 90 が貼り付けられたプリント基板 1 を、実施の形態 2
によるレーザ加工方法で加工することもできる。

なお、本実施の形態によるレーザ加工方法において、銅箔 6 に貼り付けるレー
ザビーム吸収材料として PET を用いたが、これに限定されない。例えば、ポリ
ブチレンテレフタラート (PBT)、ポリアミド (PA)、ポリエーテルイミ

ド（P E I）、ポリイミド（P I）等の高分子材料であっても、同様の効果が得られる。

なお、本実施の形態によるレーザ加工方法では、最上層が導体層であるプリント基板1を用いたが、その最上層の導体層の上に、さらに絶縁層が形成されてもよい。その場合であっても、本実施の形態によるレーザ加工方法を適用することができ、同様の効果が得られる。
5

<実施の形態8>

図17に、本発明の実施の形態8による積層材料レーザ加工方法の工程を図式的に示す。本実施の形態において、積層材料とは、実施の形態1で用いたプリント基板1と同様に、厚さ0.4mmの両面銅張り（銅箔厚さ12μm）プリント基板（ガラスエポキシ基板）1である。図17において、図1におけるプリント基板1の構造と同じ構造には、同じ符号を付す。さらに、本実施の形態によるレーザ加工方法では、加工する銅箔4をあらかじめ加熱する。このプリント基板1に、炭酸ガスレーザのパルス化したレーザビームを照射して、φ100μmの貫通穴14を形成する。
10
15

まず、銅箔4にレーザビームを照射し、銅箔4の表面温度を上昇させる。この時、レーザビームのパルスON時間を3μs、1パルスのレーザエネルギーを3mJと設定し、そのレーザビームを4kHzで3パルス照射することによって、銅箔4の表面を300°C(573K)程度まで上昇させる。次に、レーザビームのパルスON時間を3μs、1パルスのレーザエネルギーを24mJと設定し、そのレーザビームを銅箔4の同じ位置に1パルス照射して、銅箔4にφ100μmの加工穴22を形成する。
20

次に、加工穴22と同じ位置に、レーザビームのパルスON時間を100μs、1パルスのレーザエネルギーを10mJと設定して、そのレーザビームを4パルス照射し、絶縁材2を加工する。さらに、その同じ位置に、レーザビームのパルスON時間を40μs、1パルスのレーザエネルギーを8mJと設定して、そのレーザビームを1パルス照射し、銅箔6を加工する。
25

この貫通穴14の断面を顕微鏡により観察すると、穴径がほとんど変化せず、その穴の中心軸線の方向がレーザビームの光軸方向に一致する。また、貫通穴1

4 内において、レーザ光入射側の銅箔 4、レーザ光出射側の銅箔 6、および、ガラスクロス 10 の突き出しがほとんど存在しないことがわかった。また、銅箔 4 の穴径は、最大 $110 \mu\text{m}$ 、最小 $100 \mu\text{m}$ と測定された。一方、あらかじめ加熱されない通常の基板において、銅箔 4 の穴径は、最大 $110 \mu\text{m}$ 、最小 $90 \mu\text{m}$ と測定された。

本実施の形態による方法において、穴あけ加工を行う部分の銅箔をあらかじめ加熱することにより、穴径のばらつき量を低減できる。これは、加熱により、銅のレーザ光に対する吸収率が増加し、銅の安定した加工が可能になるからである。これについて、以下に詳細に説明する。

上述したように、銅は、一般的に、レーザ光の反射率が高く、熱伝導が良いため、レーザ加工が困難である。特に、銅箔 4 および銅箔 6 等のプリント基板表面に均一に形成された銅箔は、その均一な表面に炭酸ガスレーザが照射されても、照射された炭酸ガスレーザの 99 % 近くを反射し、加工が非常に困難である。しかし、銅は、温度が上昇すると、炭酸ガスレーザの吸収率が増加する。図 18 は、銅における炭酸ガスレーザ吸収率の温度依存性を示すグラフである。ここで、横軸は銅の温度、縦軸は銅における炭酸ガスレーザの吸収率を示す。

図 18 のグラフより、銅の温度が上昇すると、銅における炭酸ガスレーザの吸収率が増加することがわかる。例えば、本実施の形態によるレーザ加工方法においては、銅箔 4 を常温（約 300 K）から 573 K 程度まで上昇させるので、銅箔 4 における炭酸ガスレーザの吸収率が、約 0.8 % 増加する。これにより、銅箔 4 において、温度を上昇させないときの約 2 倍のレーザエネルギーが吸収されるようになるので、銅箔 4 の安定した加工が容易になり、銅箔 4 の穴径のばらつきが小さくなる。

なお、本実施の形態によるレーザ加工方法において、銅箔 4 を加熱するためにレーザビームを用いたが、他の任意の方法で銅箔 4 を加熱してもよい。

なお、本実施の形態によるレーザ加工方法において、銅箔 4 にのみ加熱を実施したが、銅箔 6 を加熱すれば、銅箔 6 においても同様の効果が得られる。

なお、本実施の形態による積層材料のレーザ加工方法は、実施の形態 1 による方法と同様の効果が得られる。

なお、銅箔4を加熱した後、プリント基板1を実施の形態2による方法で加工することもできる。

なお、本実施の形態によるレーザ加工方法では、最上層および最下層が導体層であるプリント基板1を用いたが、その最上層の導体層の上、および／または、
5 その最下層の導体層の下に、さらに絶縁層が形成されていてもよい。その場合であっても、本実施の形態によるレーザ加工方法を適用することができ、同様の効果が得られる。

なお、本実施の形態によるレーザ加工方法は、プリント基板1に貫通穴14を形成する場合について説明されたが、プリント基板1において止まり穴を形成したり、溝加工を行ったりする場合に適用されても同様の効果が得られる。
10

なお、上述の実施の形態1から実施の形態8において、プリント基板1の導体層を銅箔としたが、他の導電性材料であってもよい。また、上述の実施の形態1から実施の形態8において、プリント基板1の絶縁材2をガラスエポキシ樹脂としたが、これに限定されない。例えば、アラミド樹脂やガラスポリイミド樹脂等
15 であってもよい。

なお、本発明は、特定の実施形態について説明されてきたが、当業者にとっては他の多くの変形例、修正、他の利用が明らかである。それ故、本発明は、ここでの特定の開示に限定されず、添付の請求の範囲によってのみ限定されうる。

請求の範囲

1. 1以上の導体層と絶縁層とが積層された積層材料をレーザビームによって加工する方法であって、
 - 5 前記導体層にレーザビームを照射して加工穴を形成する導体層加工ステップと、前記導体層加工ステップに続けて、前記加工穴に前記導体層に照射したレーザビームよりも加工点におけるビーム径が小さいレーザビームを照射して、前記導体層に積層した絶縁層を加工する絶縁層加工ステップとを含む積層材料レーザ加工方法。
- 10 2. 1以上の導体層と絶縁層とが積層された積層材料にレーザビームを照射して穴あけ加工を行う方法であって、
 - 前記導体層において、穴あけ加工によって除去される部分をあらかじめ加熱する加熱ステップと、前記加熱ステップにおいて加熱された部分にレーザビームを照射して穴あけ加工を行う加工ステップと
 - 15 を含む積層材料レーザ加工方法。
3. 前記加熱ステップが、レーザビームを照射することによって行われる請求項2に記載の積層材料レーザ加工方法。
4. 絶縁層とその絶縁層を挟む2つの導体層とから成る積層部を含む、導体層と絶縁層とが積層された積層材料において、レーザビームを照射して、前記積層部を貫通する貫通穴を形成する方法であって、
 - 20 前記積層部の第1の導体層に第1のレーザビームを照射して加工穴を形成する第1の加工ステップと、前記第1の加工ステップに続けて、前記第1の加工ステップの加工点におけるビーム径を一定にして、前記第1の加工ステップにより形成された加工穴に、前記第1のレーザビームよりもピーク出力が低い第2のレーザビームを照射して、前記積層部の絶縁層の加工を行う第2の加工ステップと、
 - 25 前記第2の加工ステップに続けて、前記第2の加工ステップの加工点におけるビーム径を一定にして、前記第2の加工ステップによって形成された加工穴に、

前記第1のレーザビームよりもピーク出力が低く、かつ、前記第2のレーザビームよりもピーク出力が高い第3のレーザビームを照射して、前記積層部の第2の導体層の加工を行う第3の加工ステップと

から成る積層材料レーザ加工方法。

5. 前記積層部の第2の導体層が、前記積層材料の表面層であり、
前記第1の加工ステップの前に、前記第2の導体層上にレーザビーム吸収材料
を形成するステップを含む請求項4に記載の積層材料レーザ加工方法。
6. 前記レーザビーム吸収材料が高分子材料である請求項5に記載の積層材料
レーザ加工方法。
- 10 7. 1以上の導体層と絶縁層とが積層された積層材料にレーザビームを照射して
加工を行う積層材料レーザ加工装置であって、
ピーク出力の異なる複数のパルス化されたレーザビームを出射できるレーザ発
振器と、
前記レーザ発振器から出射されたレーザビームの一部を通過させる開口と、
15 前記開口を通過したレーザビームを光路変更させる光路変更光学系と、
前記開口の像を結像する結像レンズと、
前記レーザ発振器、前記開口、前記光路変更光学系、および、前記結像レンズ
の位置および動作を制御する制御部と
を備え、
20 前記制御部は、結像される像の大きさを可変にすることを特徴とする装置。
8. さらに、前記開口と前記光路変更光学系との間の光路中に光路長を可変に
する光路長可変光学系を備え、
前記制御部は、前記光路長可変光学系を制御して、前記開口と前記結像レンズ
との間の距離を可変にすることを特徴とする請求項7に記載のレーザ加工装置。
- 25 9. さらに、前記開口と前記光路変更光学系との間の光路中に反射ミラーを備
え、
前記制御部は、前記反射ミラーの反射面形状を可変にすることを特徴とする請
求項7に記載のレーザ加工装置。
10. 前記制御部は、前記反射ミラーの反射面形状を回転双曲面の一部にする

ことを特徴とする請求項 9 に記載のレーザ加工装置。

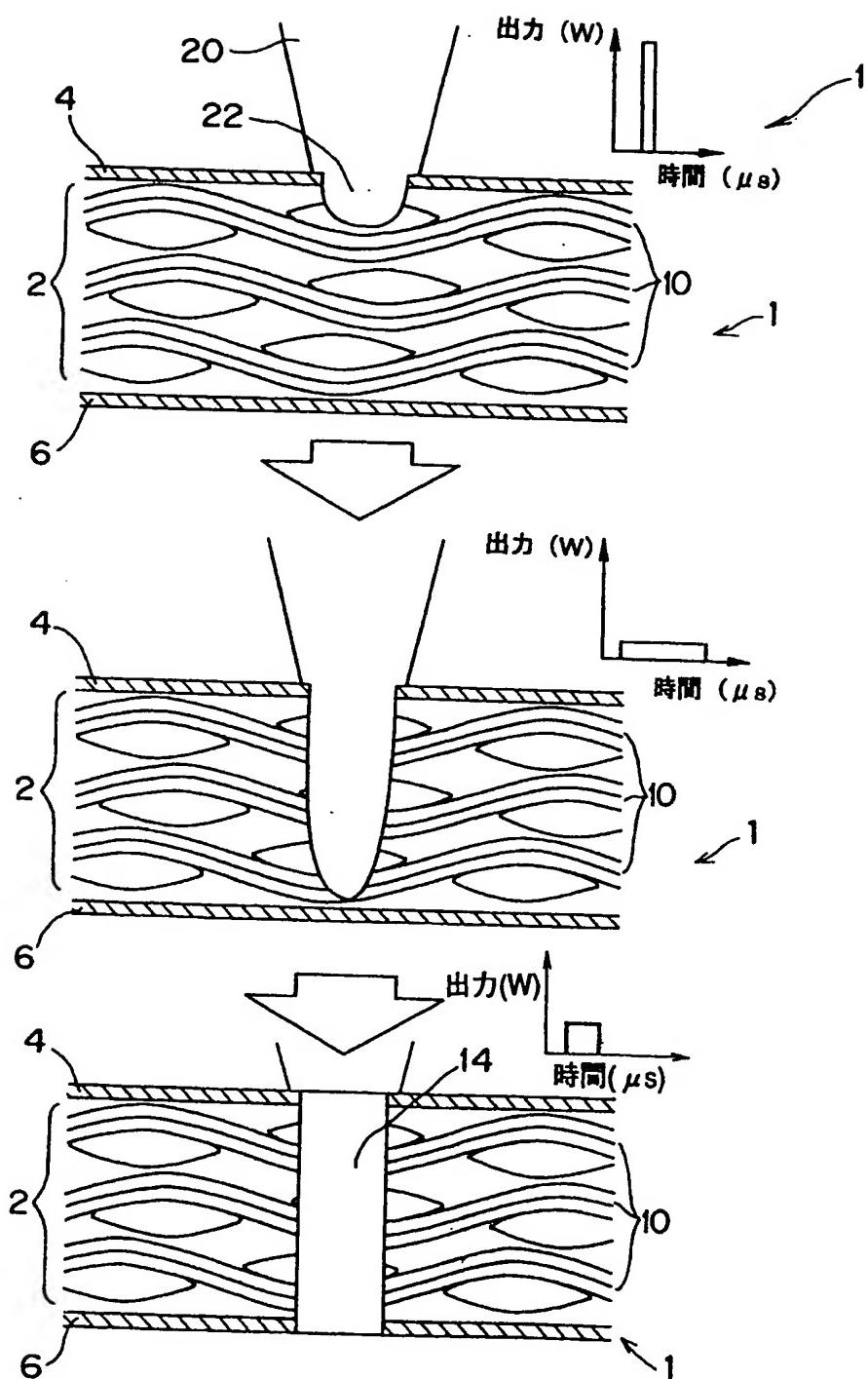
11. 前記制御部は、前記反射ミラーに装着された圧電素子を制御することによって、前記反射ミラーの反射面形状を可変にすることを特徴とする請求項 9 または請求項 10 に記載のレーザ加工装置。

5 12. 前記制御部は、前記開口の開口径を可変にすることを特徴とする請求項 7 に記載のレーザ加工装置。

13. 前記制御部は、前記結像レンズの焦点距離を可変にすることを特徴とする請求項 7 に記載のレーザ加工装置。

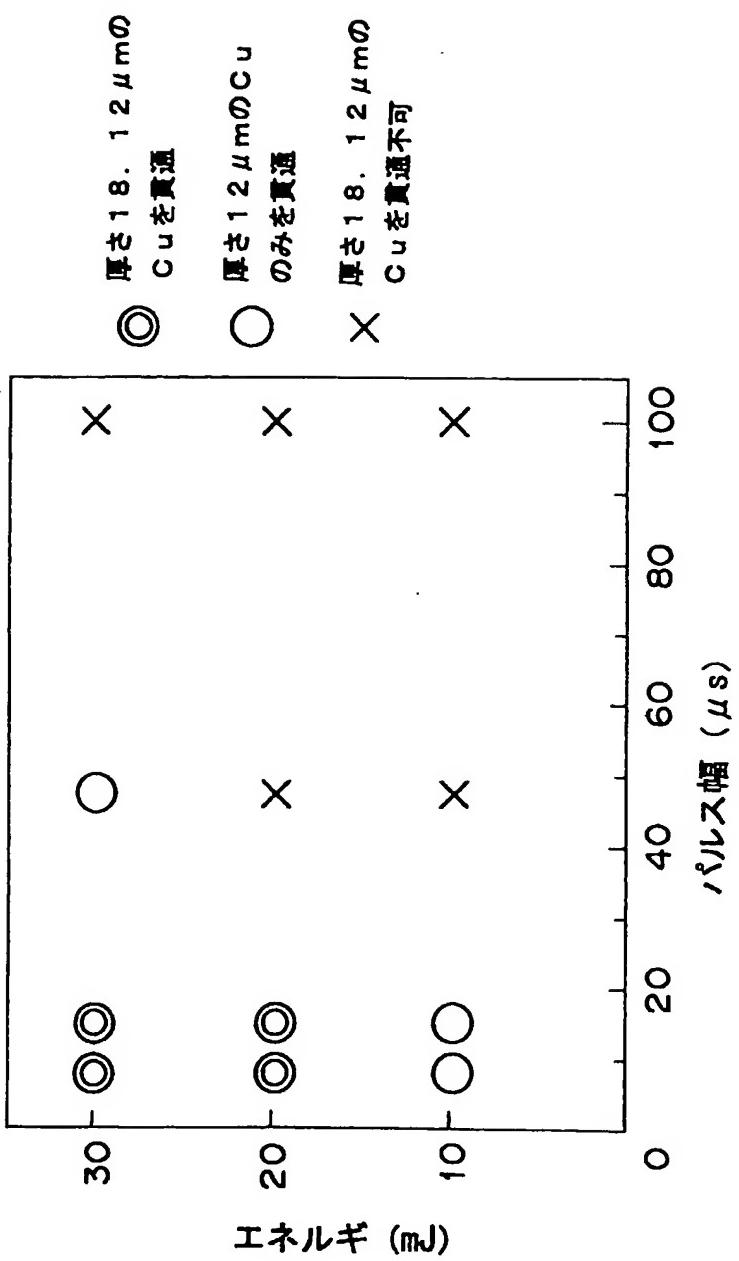
1/19

図1



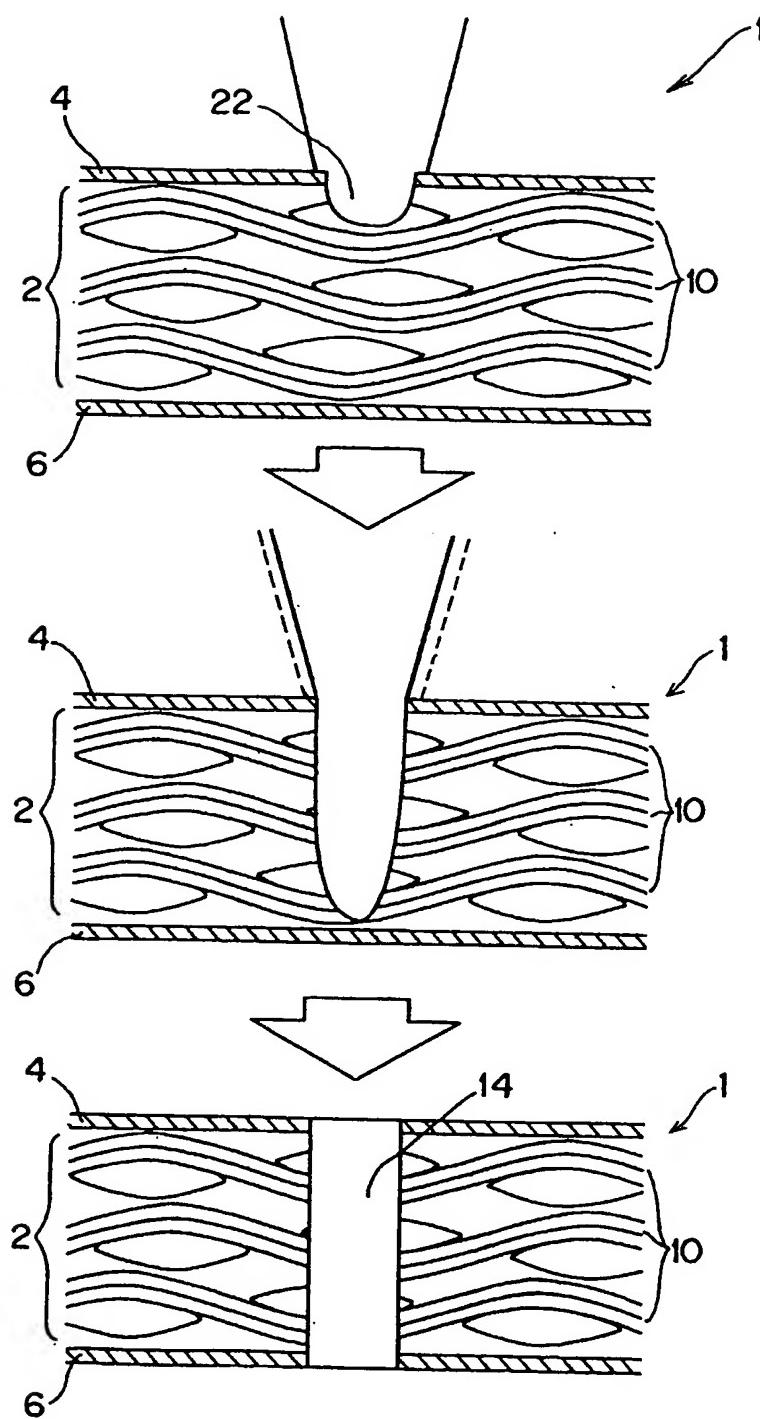
2/19

図2



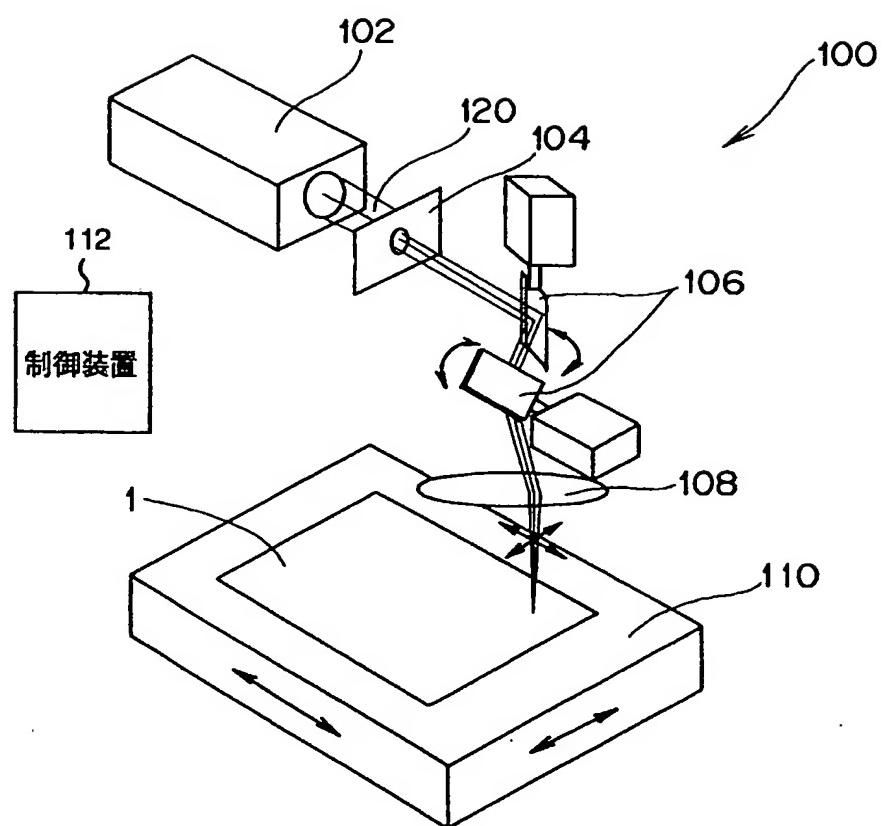
3/19

図3



4/19

図4



5/19

図5

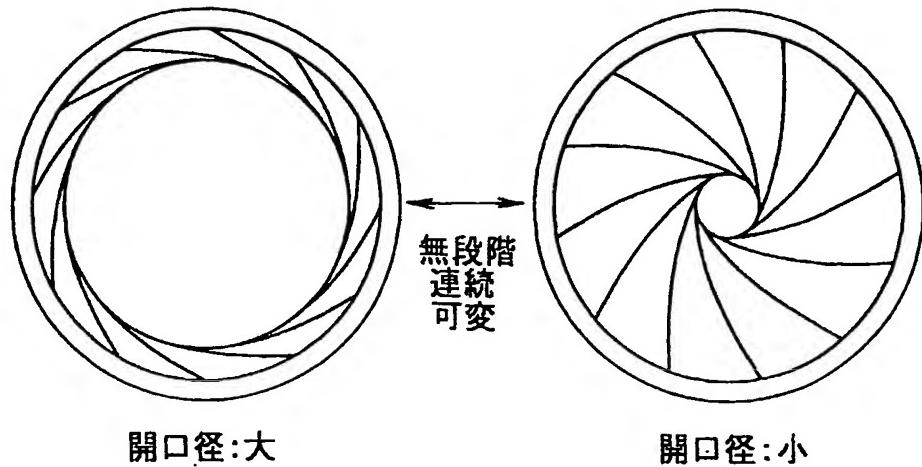
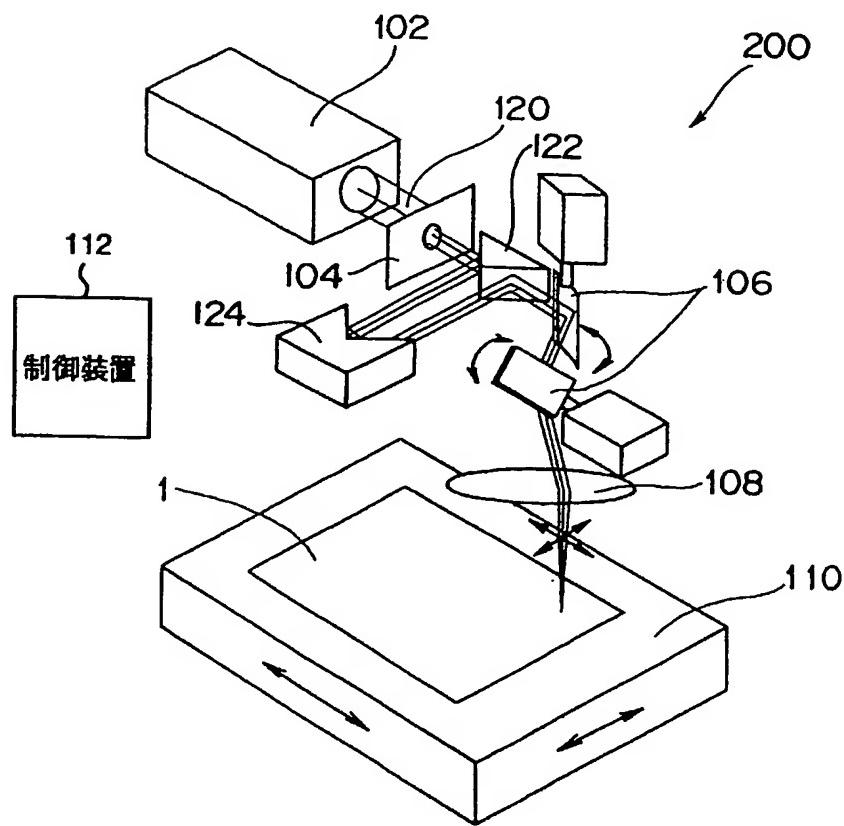
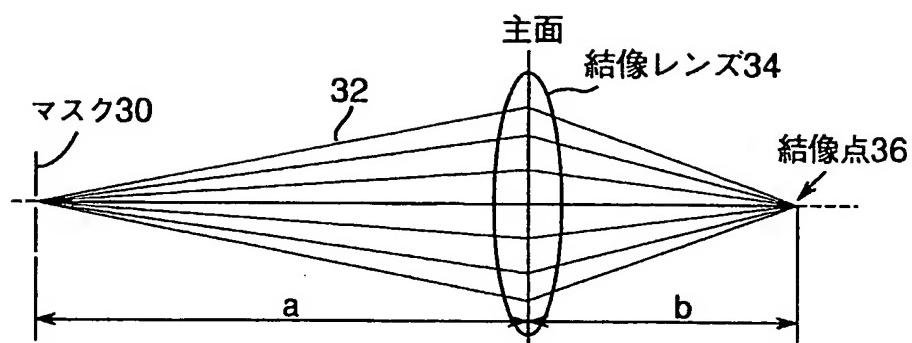


図6



6/19

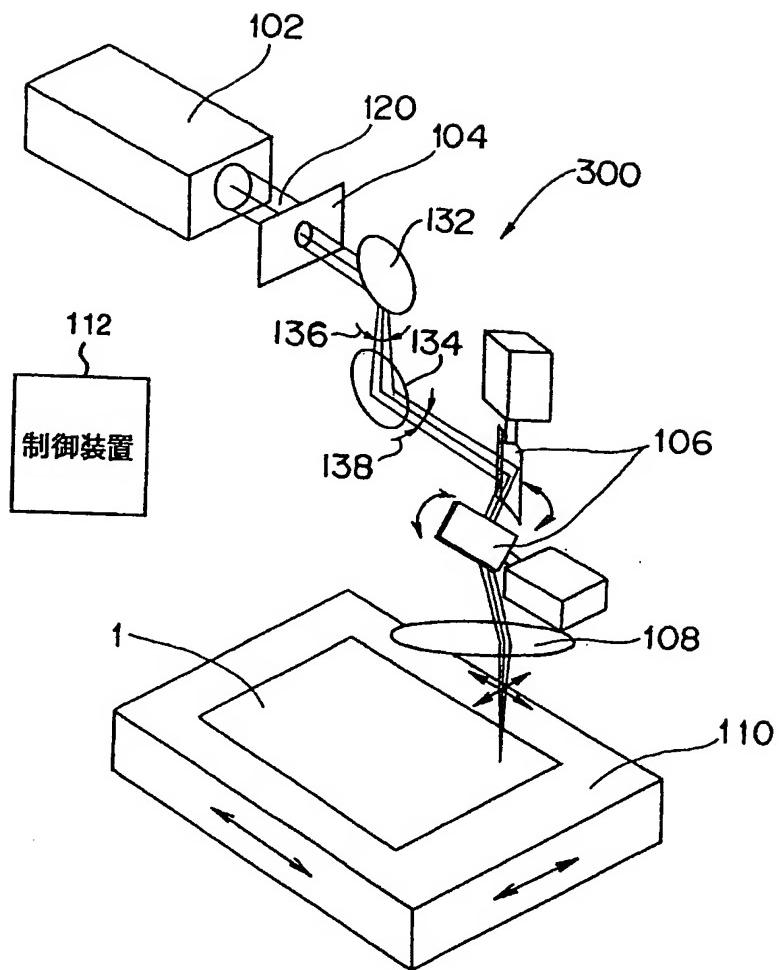
図7



$$\begin{aligned} f &: \text{焦点距離 (Focal length)} & \beta &: \text{横倍率 (Magnification)} \\ 1/a + 1/b &= 1/f \\ \beta &= b/a \end{aligned}$$

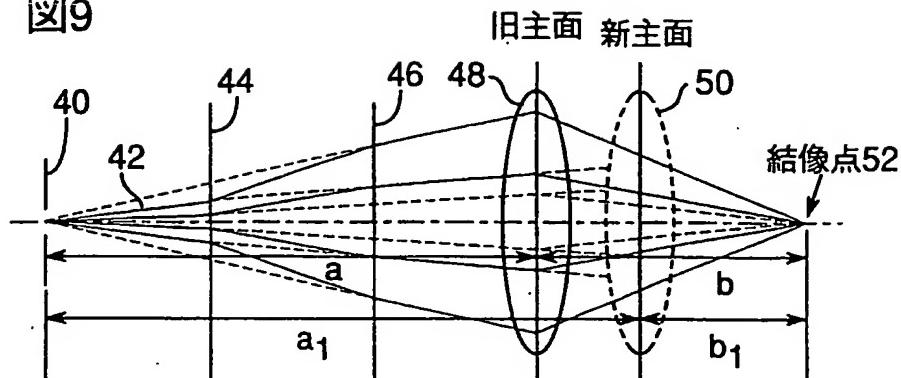
7/19

図8



8/19

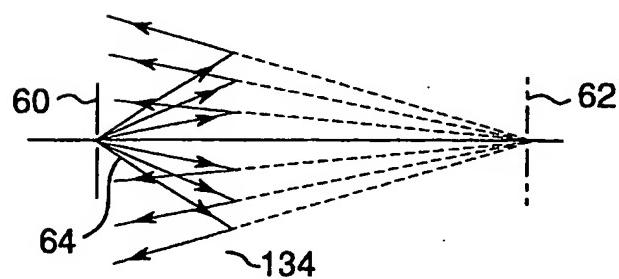
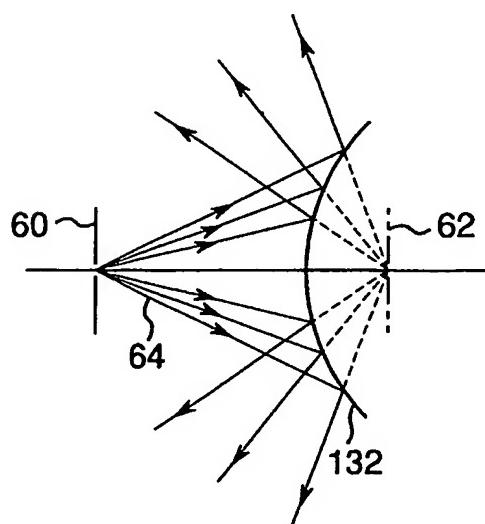
図9

 f : 焦点距離

$$\beta : \text{横倍率} \quad a+b=a_1+b_1$$

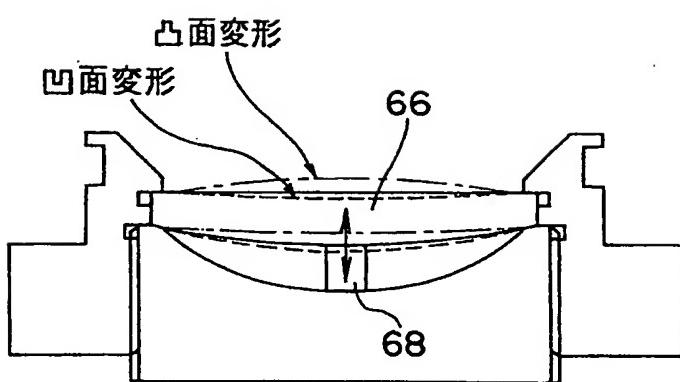
$$\beta=b_1/a_1$$

図10



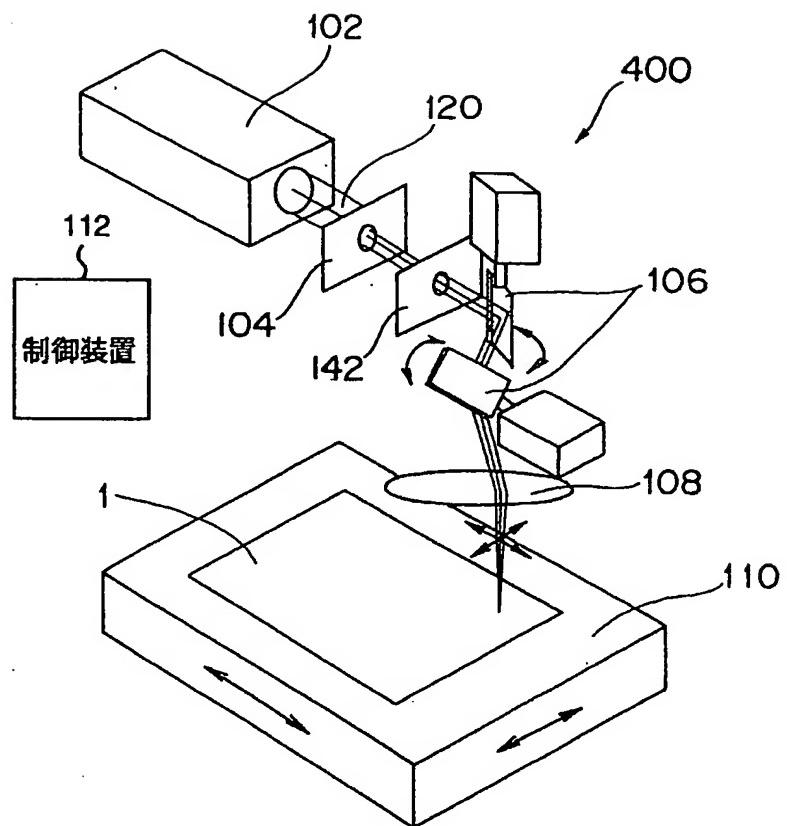
9/19

図11



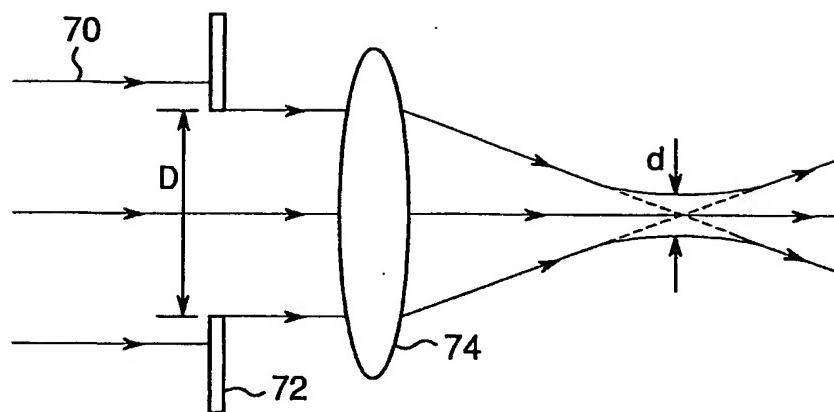
10/19

図12



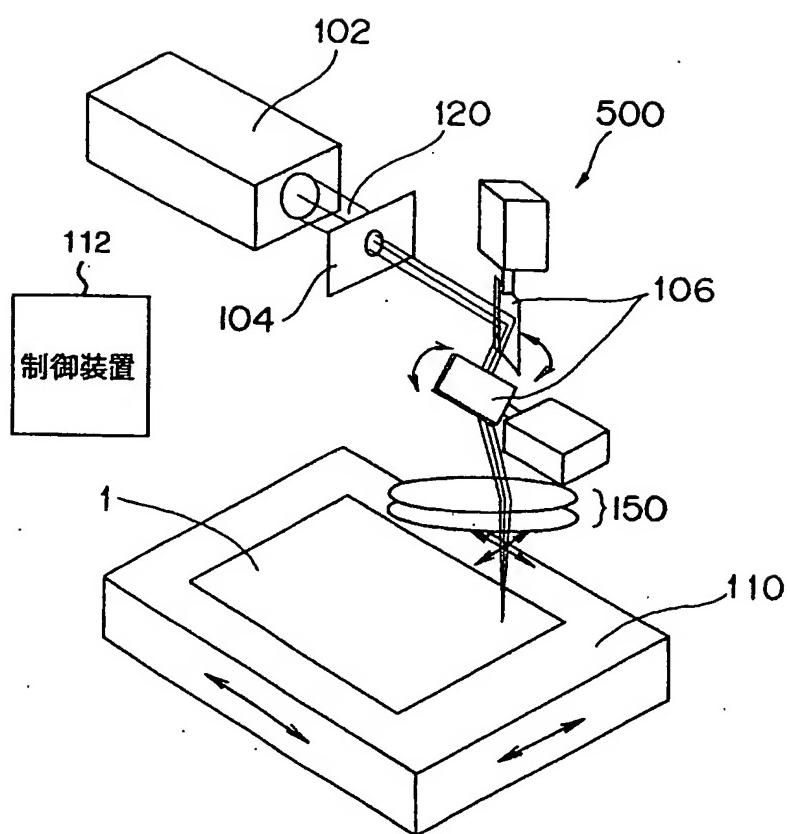
11/19

図13



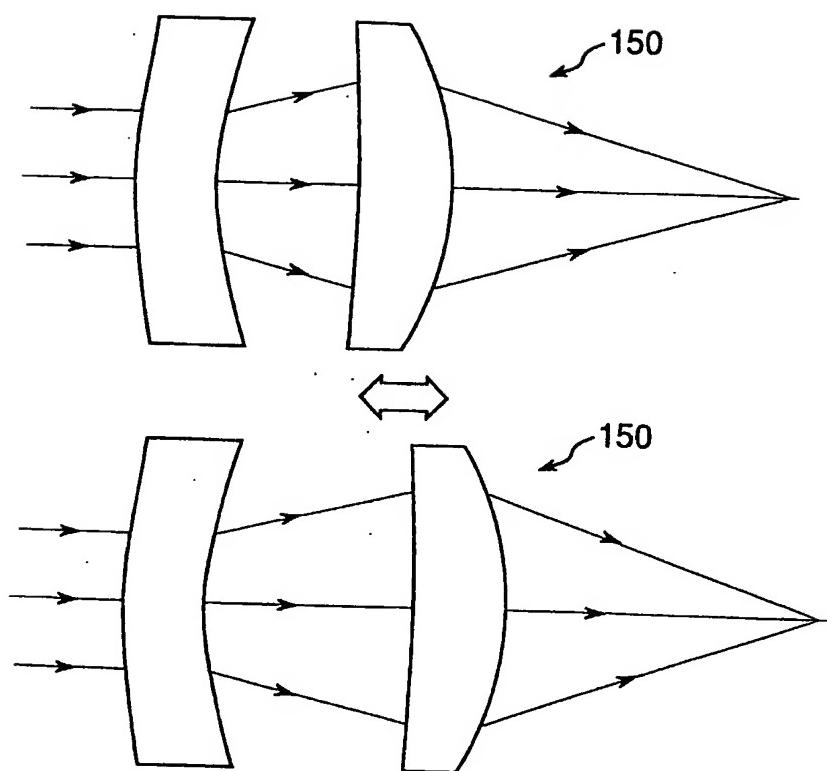
12/19

図14



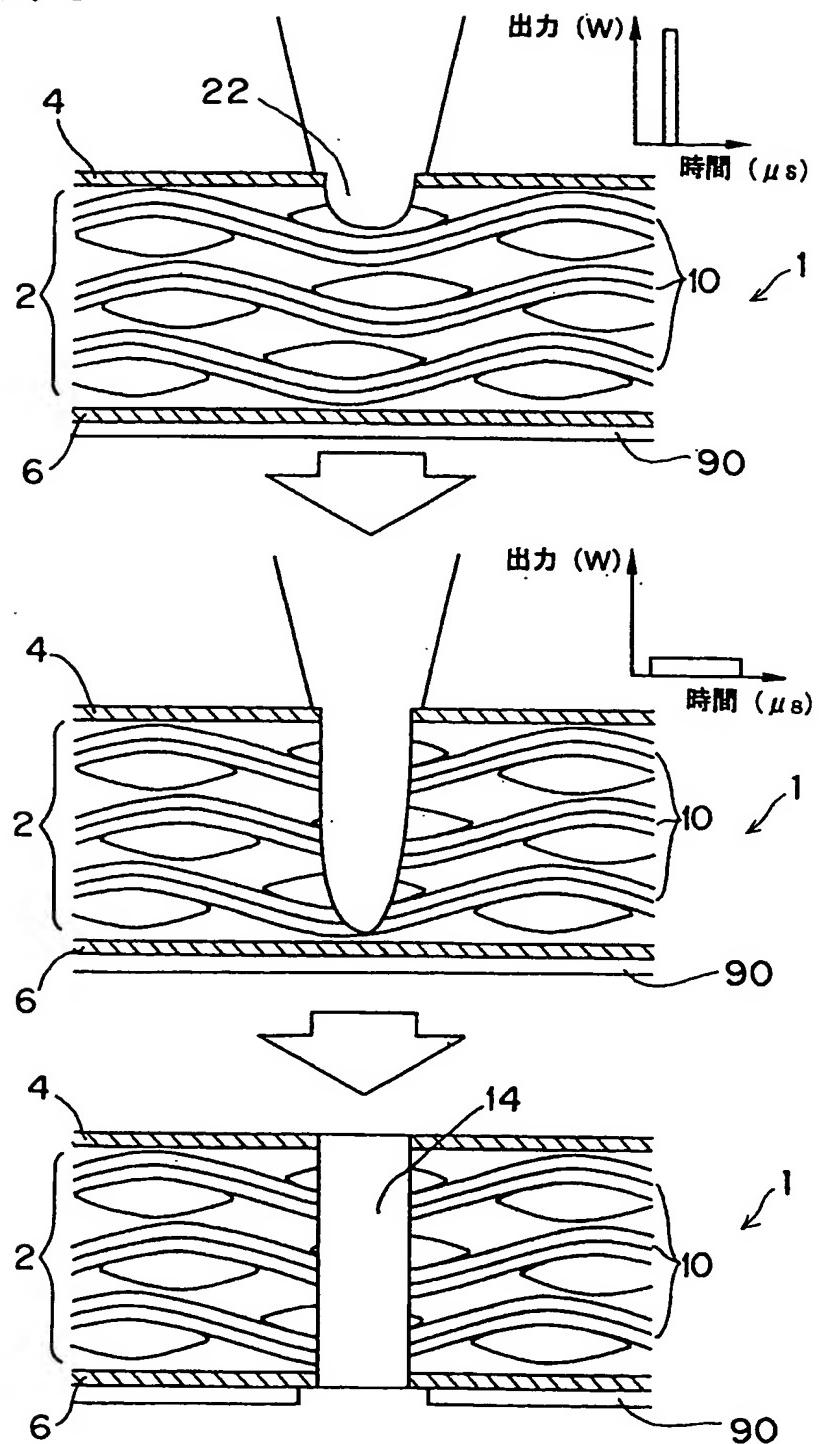
13/19

図15



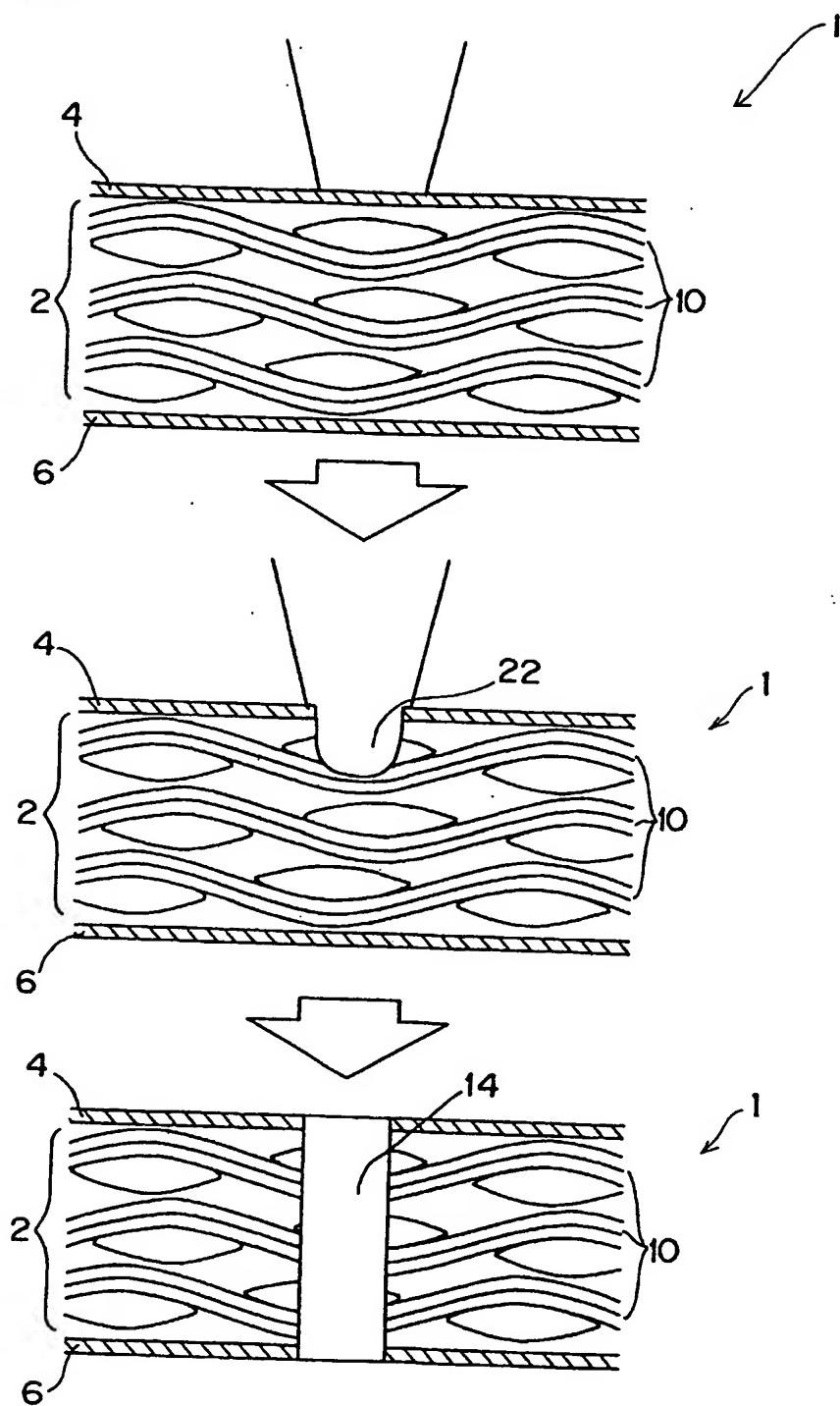
14/19

図16



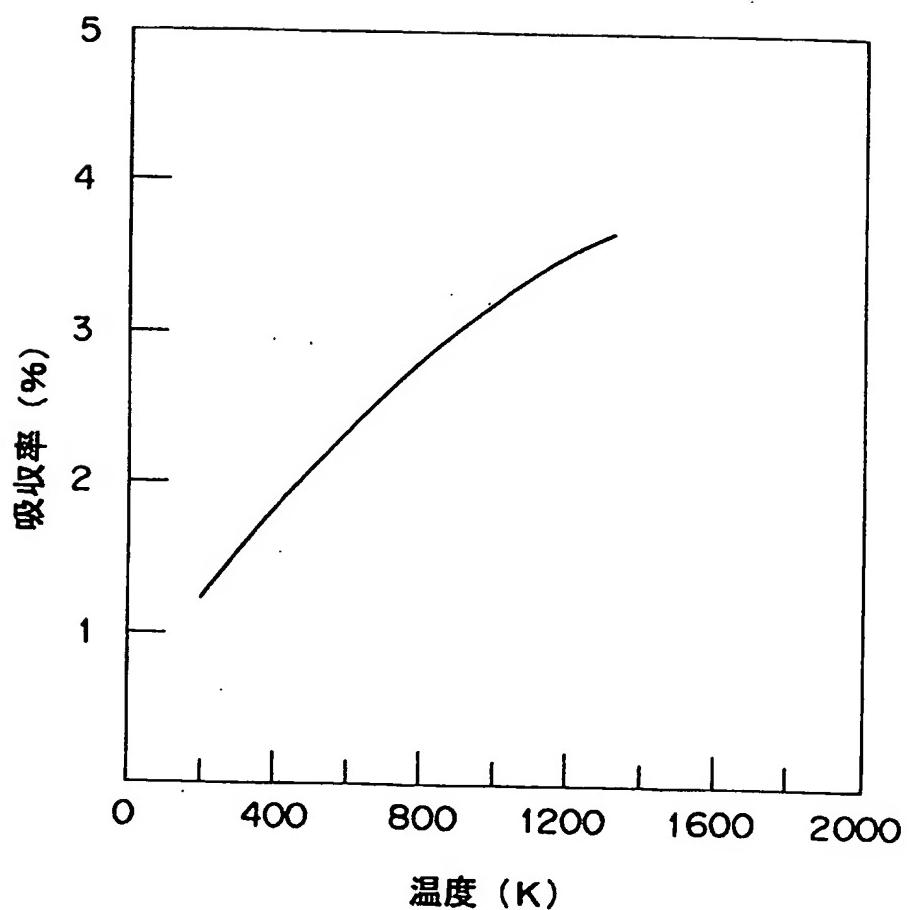
15/19

図17



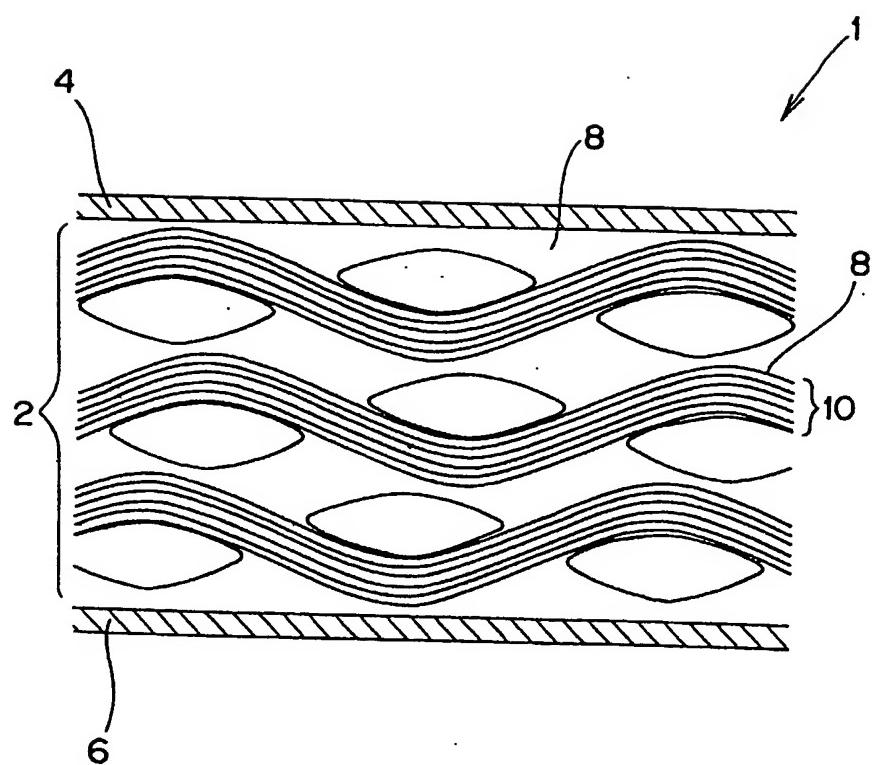
16/19

図18



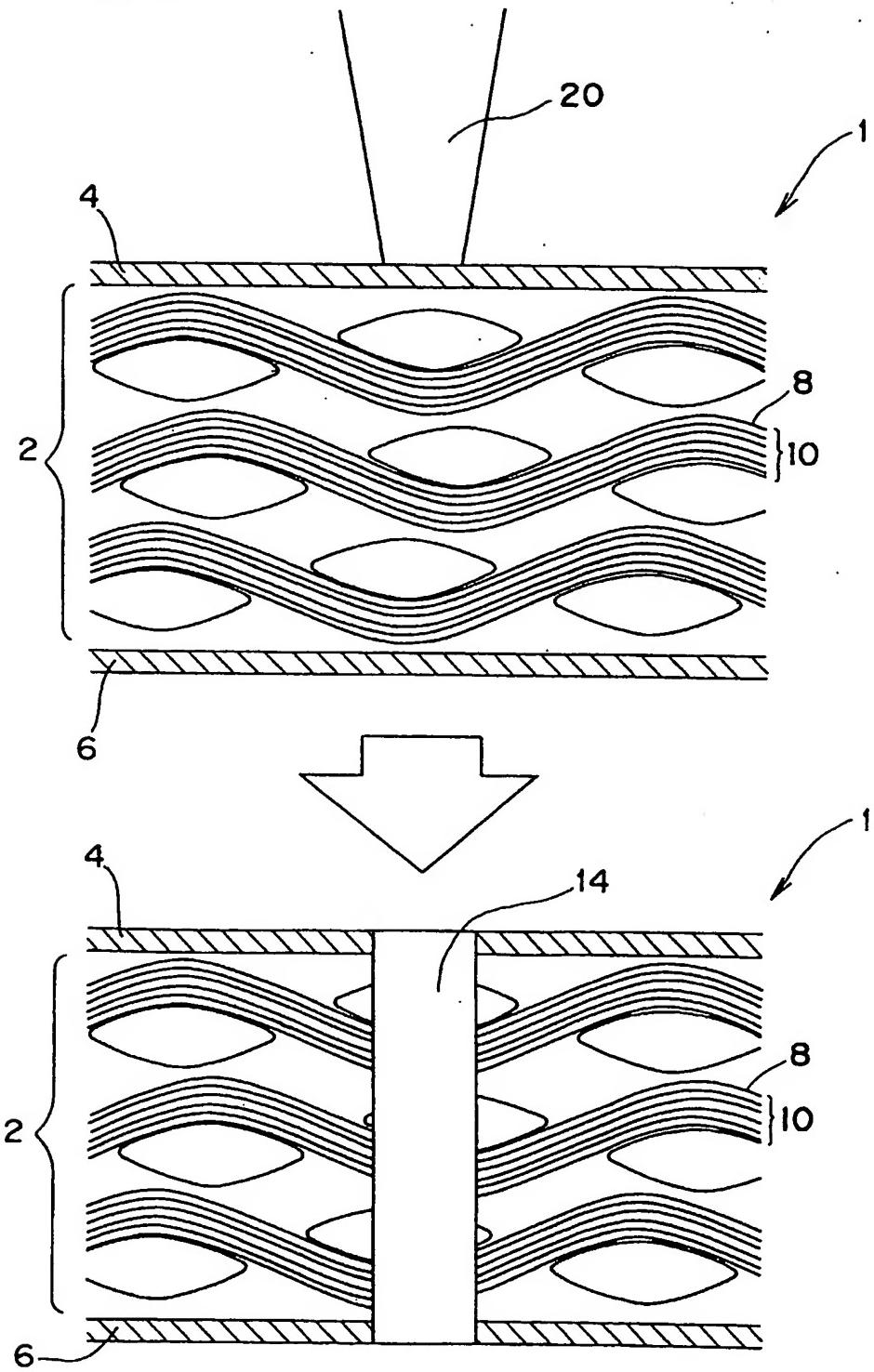
17/19

図19



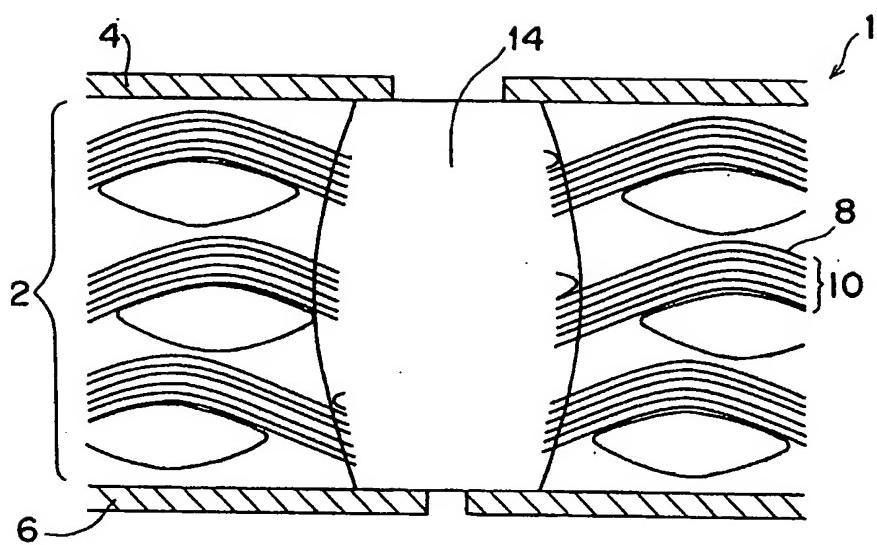
18/19

図20



19/19

図21



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/03150

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ B23K26/38, B23K26/40, H05K3/00, B23K101:42

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ B23K26/38, B23K26/40, H05K3/00, B23K101:42

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2002
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2002	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2002

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P,X P,A	JP 2001-313471 A (Matsushita Electric Works, Ltd.), 09 November, 2001 (09.11.01), Claims 1, 7, 8; column 5, lines 4 to 10; column 5, line 43 to column 6, line 36; all drawings (Family: none)	1 2-13
X Y A	JP 11-245071 A (Sumitomo Heavy Industries, Ltd.), 14 September, 1999 (14.09.99), Claim 6; column 3, line 25 to column 6, line 29; Figs. 1 to 2 (Family: none)	7,12 9-11,13 1-6,8
Y A	US 5933218 A (Mitsubishi Denki Kabushiki Kaisha), 03 August, 1999 (03.08.99), Column 10, line 38 to column 16, line 33; Figs. 7 to 32 & JP 9-293946 A	11 1-10,12-13

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

"A"	Special categories of cited documents: document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T"	later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"E"	earlier document but published on or after the international filing date	"X"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"L"	document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"O"	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&"	document member of the same patent family
"P"	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		

Date of the actual completion of the international search 24 June, 2002 (24.06.02)	Date of mailing of the international search report 09 July, 2002 (09.07.02)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/03150

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2000-71088 A (Nisshinbo Industries, Inc.), 07 March, 2000 (07.03.00), Column 3, lines 26 to 38; Fig. 2 (Family: none)	<u>11</u> 1-10, 12-13
A	JP 11-274731 A (Fujitsu Ltd.), 08 October, 1999 (08.10.99), Claim 5 (Family: none)	1-13
E, A	JP 2002-118344 A (Hitachi Via Mechanics, Ltd.), 19 April, 2002 (19.04.02), Full text; all drawings (Family: none)	1-13

A. 発明の属する分野の分類(国際特許分類(IPC))

Int. Cl' B23K26/38, B23K26/40, H05K3/00, B23K101:42

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料(国際特許分類(IPC))

Int. Cl' B23K26/38, B23K26/40, H05K3/00, B23K101:42

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2002年
日本国実用新案登録公報	1996-2002年
日本国登録実用新案公報	1994-2002年

国際調査で使用した電子データベース(データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
P, X P, A	JP 2001-313471 A (松下電工株式会社) 2001.11.09, 請求項1, 7, 8, 第5欄第4-10行、第5欄第43行-第6欄 第36行, 全図 (ファミリーなし)	1 2-13
X Y A	JP 11-245071 A (住友重機械工業株式会社) 1999.09.14, 請求項6, 第3欄第25行-第6欄第29行, 第1-2図 (ファミ リーなし)	7, 12 9-11, 13 1-6, 8

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

- 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
- 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
- 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献(理由を付す)
- 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
- 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

- 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
- 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
- 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
- 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

24. 06. 02

国際調査報告の発送日

09.07.02

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官(権限のある職員)

加藤 昌人

3P 9257



電話番号 03-3581-1101 内線 3362

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JPO2/03150

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y A	US 5933218 A (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA) 1999.08.03, 第10欄第38行-第16欄第33行, 第7-32図 & JP 9-293946 A	11 1-10, 12-13
Y A	JP 2000-71088 A (日清紡績株式会社) 2000.03.07, 第3欄第26-38行, 第2図 (ファミリーなし)	11 1-10, 12-13
A	JP 11-274731 A (富士通株式会社) 1999.10.08, 請求項5 (ファミリーなし)	1-13
E, A	JP 2002-118344 A (日立ビアメカニクス株式会社) 2002.04.19, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-13